Jean-François PILLOU
Fabrice LEMAINQUE

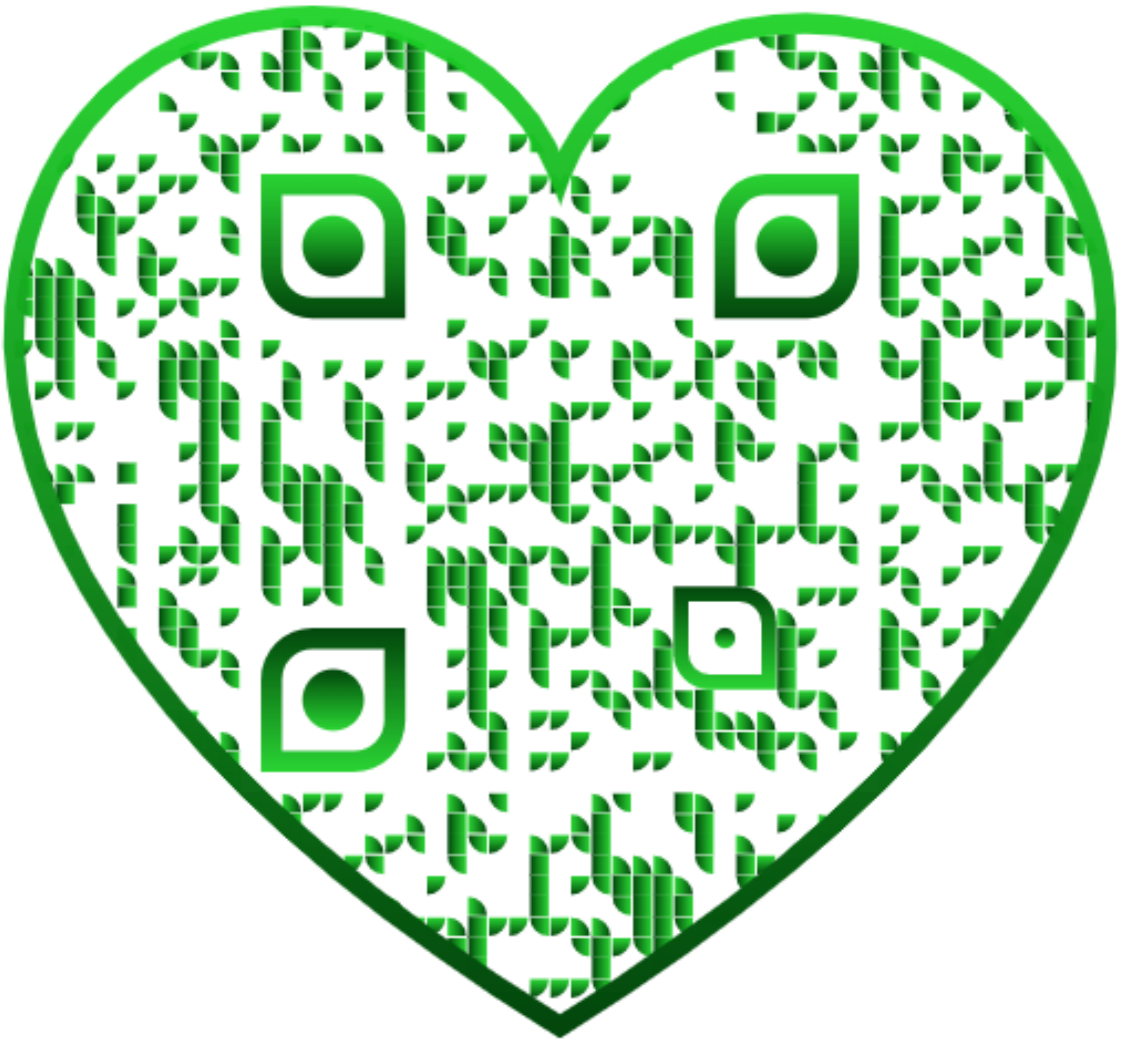
Comment ça marche .net

Tout sur les Réseaux et Internet

4e édition

- Routeur
- Commutateur
- Téléphonie 3G/4G
- CPL
- TCP/IP
- DNS
- DHCP
- NAT
- VPN
- Ethernet
- Bluetooth
- WiMAX
- WiFi
- Etc.

DUNOD



Directeur de collection : Jean-François Pillou

Illustration de couverture : Rachid Maraï
Maquette de couverture : WIP Design
Mise en pages : ARCLEMAX

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.
Le Code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

© Dunod, 2012, 2015
5 rue Laromiguière, 75005 Paris
www.dunod.com
ISBN 978-2-10-072229-7

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).
Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Avant-propos **1**

1. Initiation aux réseaux **3**
Concept de réseau 3
Intérêt d'un réseau 4
Topologie d'un réseau 5
Architectures réseaux 7
Familles de réseaux 11

2. Transmission de données **15**
Représentation des données 15
Canal de transmission 16
Modes de transmission 21
Transmission analogique 26
Transmission numérique 28
Câblage coaxial 32
Câblage à paire torsadée 33
Fibre optique 36
Multiplexage 36

3. Protocoles réseau 38
Notion de protocole 38
Adresse IP 39
Système de noms de domaine 51
Notion de port 59

4. TCP/IP 62
Différence entre standard et implémentation 63
Un modèle en couches 63
Modèle OSI 64
Modèle TCP/IP 65
Encapsulation des données 66
Protocole TCP 69
Protocole IP 76

5. Les autres protocoles du modèle TCP/IP 88
Protocole ARP 88
Protocole RARP 89
Protocole ICMP 90
Protocole UDP 93
Protocoles de routage 94
Protocoles d'accès au réseau 98

6. Protocoles applicatifs 101
Protocole HTTP 101
Protocole FTP 108
Protocole Telnet 117
Protocoles de messagerie 123
Protocole DHCP 129

7. Internet 135
Connexion à Internet 136
Courrier électronique 142

8. Équipements 146
Présentation 146
Répéteur 148
Concentrateur 149
Pont 150
Commutateur 152
Passerelle applicative 152
Routeur 152
B-routeur 155
Proxy 156

9. Réseaux sans fil 160
Catégories de réseaux sans fil 161
Propagation des ondes radio 169
Bluetooth 173
WiMAX 178
WiFi 181
Risques liés aux réseaux sans fil 188
Courant porteur en ligne (CPL) 190

10. Mise en place d'un réseau 196
Matériel nécessaire 196
Mise en œuvre 198
Mise en réseau 201

Mise en place d'un réseau sans fil 204
Mode infrastructure 207

11. Sécurité 212

Pare-feu 213
Sécurisation d'un réseau WiFi 220
Protocoles de sécurisation 227

12. Dépannage réseau 235

Outils de dépannage réseau 236
Dépannage de la connectivité réseau 250

Index 271

Téléchargez le chapitre13, Travail en réseau, sur le site www.dunod.com à l'adresse suivante : http://www.dunod.com/contenus-complementaires/9782100722303

Avant-propos

Autrefois réservés aux seules entreprises, les réseaux touchent aujourd'hui tous les utilisateurs d'ordinateurs, en particulier ceux connectés à Internet. Les réseaux permettent d'accéder à d'innombrables fonctionnalités, telles que le partage de ressources, le jeu en réseau, le partage de fichiers, ainsi qu'à un volume d'informations sans précédent avec l'interconnexion des réseaux *via* Internet.

S'il est très facile de se connecter à Internet, le partage de ressources (partage de la connexion par exemple) ou la mise en place d'un réseau sans fil sécurisé nécessitent un certain nombre de compétences et de connaissances préalables. Le développement exponentiel des dispositifs sans fil liés à la téléphonie mobile étend le concept de réseau tel qu'il était auparavant perçu.

Le but de cet ouvrage est de faire un point sur les différentes notions à connaître pour acquérir une culture générale sur les réseaux et de pouvoir comprendre les discussions sur ce sujet, notamment dans un contexte professionnel.

Initiation aux réseaux

Concept de réseau

Un **réseau** est un ensemble d'objets interconnectés. Il permet de faire circuler des éléments entre chacun de ces objets selon des règles bien définies.

Selon le type d'objets, on parlera parfois de :

- **Réseau de transport** : ensemble d'infrastructures et de disposition permettant de transporter des personnes et des biens entre plusieurs zones géographiques.
- **Réseau téléphonique** : infrastructure permettant de faire circuler la voix entre plusieurs postes téléphoniques.
- **Réseau de neurones** : ensemble de cellules interconnectées entre elles.
- **Réseau de malfaiteurs** : ensemble d'escrocs qui sont en contact les uns avec les autres (un escroc en cache généralement un autre !)
- **Réseau informatique** : ensemble d'ordinateurs reliés entre eux grâce à des lignes physiques et échangeant des informations sous forme de données numériques (des valeurs binaires, c'est-à-dire codées sous forme de signaux pouvant prendre deux valeurs : 0 et 1).

Le présent ouvrage s'intéressera bien évidemment aux réseaux informatiques.

Il n'existe pas un seul type de réseaux, car historiquement il existe des types d'ordinateurs différents, communiquant selon des

langages divers et variés. De plus, les supports physiques de transmission les reliant peuvent être très hétérogènes, que ce soit au niveau du transfert de données (circulation de données sous forme d'impulsions électriques, sous forme de lumière ou bien sous forme d'ondes électromagnétiques) ou bien au niveau du type de support (lignes en cuivres, en câble coaxial, en fibre optique...).

Les différents chapitres suivants s'attacheront à décrire les caractéristiques des supports physiques des transmissions, ainsi que la manière dont les données transitent sur le réseau.

À savoir

Réseau (*network*) : c'est l'ensemble des ordinateurs et périphériques connectés les uns aux autres. Deux ordinateurs connectés constituent déjà un réseau.

Mise en réseau (*networking*) : c'est la mise en œuvre des outils et des tâches permettant de relier des ordinateurs afin qu'ils puissent partager des ressources.

Intérêt d'un réseau

Un **ordinateur** est une machine permettant de manipuler des données. L'homme, en tant qu'être communiquant, a rapidement compris l'intérêt qu'il pouvait y avoir à relier ces ordinateurs entre eux afin de pouvoir échanger des informations.

Un réseau informatique peut servir plusieurs buts distincts :

- Le partage de ressources (fichiers, applications ou matériels).
- La communication entre personnes (courrier électronique, discussion en direct, etc.).
- La communication entre processus (entre des machines industrielles par exemple).
- La garantie de l'unicité de l'information (bases de données).
- Le jeu vidéo multijoueurs.

Les réseaux permettent aussi de standardiser les applications, on parle généralement de **groupware**. Par exemple, la messagerie électronique et les agendas de groupe qui permettent de communiquer plus efficacement et plus rapidement.

Voici les avantages qu'offrent de tels systèmes :

- diminution des coûts grâce aux partages des données et des périphériques,
- standardisation des applications,
- accès aux données en temps utile,
- communication et organisation plus efficace.

Aujourd'hui, la tendance est au développement vers des **réseaux étendus** (WAN) déployés à l'échelle du pays, voire à l'échelle mondiale. Ainsi, les intérêts sont multiples, que ce soit pour une entreprise ou pour un particulier.

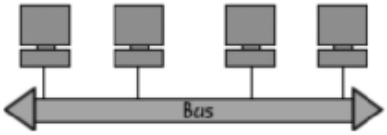
Topologie d'un réseau

Un réseau informatique est constitué d'ordinateurs reliés entre eux grâce à des lignes de communication (câbles réseaux, liaisons sans fil, etc.) et des éléments matériels (cartes réseau, ainsi que d'autres équipements permettant d'assurer la bonne circulation des données). L'arrangement physique, c'est-à-dire la configuration spatiale du réseau est appelé **topologie physique**. On distingue généralement les topologies suivantes :

- la topologie en bus,
- la topologie en étoile,
- la topologie en anneau,
- la topologie en arbre,
- la topologie maillée.

La **topologie logique**, par opposition à la topologie physique, représente la façon dont les données transitent dans les lignes de communication. Les topologies logiques les plus courantes sont Ethernet, Token Ring et FDDI.

Topologie en bus



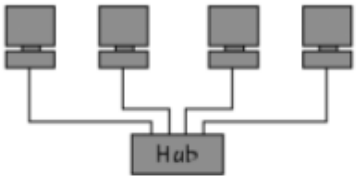
Une **topologie en bus** est l'organisation la plus simple d'un réseau. En effet, dans une topologie en bus tous les ordinateurs sont reliés à une même ligne de transmission par l'intermédiaire de câbles, généralement de type coaxial. Le mot « bus » désigne la ligne physique qui relie les machines du réseau.

Cette topologie a pour avantage d'être facile à mettre en œuvre et de posséder un fonctionnement simple. En revanche, elle est extrêmement vulnérable étant donné que si l'une des connexions est défectueuse, l'ensemble du réseau en est affecté.

Topologie en étoile

Dans une **topologie en étoile**, les ordinateurs du réseau sont reliés à un système matériel central appelé **concentrateur** (*hub*, littéralement *moyeu de roue*). Il s'agit d'une boîte comprenant un certain nombre de jonctions auxquelles il est possible de raccorder les câbles réseau en provenance des ordinateurs. Le concentrateur a pour rôle d'assurer la communication entre les différentes jonctions.

Contrairement aux réseaux construits sur une topologie en bus, les réseaux suivant une topologie en étoile sont beaucoup moins vulnérables car une des connexions peut être débranchée sans paralyser le reste du réseau. Le point névralgique de ce réseau est le concentrateur, car sans lui plus aucune communication entre les ordinateurs du réseau n'est possible.

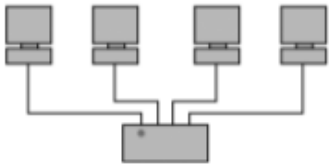


En revanche, un réseau à topologie en étoile est plus onéreux qu'un réseau à topologie en bus car un matériel supplémentaire est nécessaire (le concentrateur).

Topologie en anneau

Dans un réseau possédant une **topologie en anneau**, les ordinateurs sont théoriquement situés sur une boucle et communiquent chacun à leur tour.

Ils sont en réalité reliés à un **répartiteur** (MAU, *Multistation Access Unit*) qui va gérer la communication entre eux en impartissant à chacun un « temps de parole ».



Les deux principales topologies logiques utilisant cette topologie physique sont Token Ring (anneau à jeton) et FDDI.

Architectures réseaux

En élargissant le contexte de la définition du réseau aux services qu'il apporte, il est possible de distinguer deux modes de fonctionnement :

- **l'architecture d'égal à égal** (*peer to peer*, parfois appelée « poste à poste »), dans lequel il n'y a pas d'ordinateur central et chaque ordinateur joue un rôle similaire,
- **l'architecture de type client-serveur**, où un ordinateur (serveur) fournit des services réseau aux ordinateurs clients.

Architecture d'égal à égal

Dans une architecture d'**égal à égal** (ou *poste à poste*), contrairement à une architecture de réseau de type client-serveur, il n'y a pas de serveur dédié. Ainsi, chaque ordinateur dans un tel réseau

est un peu serveur et un peu client. Cela signifie que chacun des ordinateurs du réseau est libre de partager ses ressources. Un ordinateur relié à une imprimante pourra donc éventuellement la partager afin que tous les autres ordinateurs puissent y accéder *via* le réseau.

❑ Inconvénients

Les réseaux d'égal à égal ont énormément d'inconvénients :

- ce système n'est pas du tout centralisé, ce qui le rend très difficile à administrer,
- la sécurité est très peu présente,
- aucun maillon du système n'est fiable.

Ainsi, les réseaux d'égal à égal ne sont valables que pour un petit nombre d'ordinateurs (généralement une dizaine), et pour des applications ne nécessitant pas une grande sécurité (il est donc déconseillé pour un réseau professionnel avec des données sensibles).

❑ Avantages

L'architecture d'égal à égal a tout de même quelques avantages parmi lesquels :

- **un coût réduit** (les coûts engendrés par un tel réseau sont le matériel, les câbles et la maintenance),
- **une simplicité** à toute épreuve !

❑ Mise en œuvre d'un réseau poste à poste

Les **réseaux poste à poste** ne nécessitent pas les mêmes niveaux de performance et de sécurité que les logiciels réseaux pour serveurs dédiés. On peut donc utiliser les différentes versions de Windows car tous ces systèmes d'exploitation intègrent toutes les fonctionnalités du réseau poste à poste.

La mise en œuvre d'une telle architecture réseau repose sur des solutions standards :

- placer les ordinateurs sur le bureau des utilisateurs,
- chaque utilisateur est son propre administrateur et planifie lui-même sa sécurité,
- pour les connexions, on utilise un système de câblage simple et apparent.

Il s'agit généralement d'une solution satisfaisante pour des environnements ayant les caractéristiques suivantes :

- moins de 10 utilisateurs,
- tous les utilisateurs sont situés dans une même zone géographique,
- la sécurité n'est pas un problème crucial,
- ni l'entreprise ni le réseau ne sont susceptibles d'évoluer de manière significative dans un proche avenir.

❑ Administration d'un réseau poste à poste

On désigne par le terme **administration** :

- la gestion des utilisateurs et de la sécurité,
- la mise à disposition des ressources,
- la maintenance des applications et des données,
- l'installation et la mise à niveau des logiciels utilisateurs.

Dans un réseau poste à poste typique, il n'y a pas d'administrateur. Chaque utilisateur administre son propre poste. Tous les utilisateurs peuvent partager leurs ressources comme ils le souhaitent (données dans des répertoires partagés, imprimantes, etc.).

❑ Notions de sécurité

La politique de **sécurité minimale** consiste à mettre un mot de passe à une ressource. Les utilisateurs d'un réseau poste à poste définissent leur propre sécurité et, comme tous les partages peuvent exister sur tous les ordinateurs, il est difficile de mettre en œuvre un contrôle centralisé. Ceci pose également un problème de sécurité globale du réseau car certains utilisateurs ne sécurisent pas du tout leurs ressources.

Architecture client/serveur

De nombreuses applications fonctionnent selon un environnement client-serveur, cela signifie que des **machines clientes** (des machines faisant partie du réseau) contactent un **serveur**, une machine généralement très puissante en terme de capacités d'entrée-sortie, qui leur fournit des **services**. Ces services sont des programmes fournissant des données telles que l'heure, des fichiers, une connexion...

Les services sont exploités par des programmes, appelés **programmes clients**, s'exécutant sur les machines clientes. On parle ainsi de client FTP, client de messagerie... lorsque l'on désigne un programme, tournant sur une machine cliente, capable de traiter des informations qu'il récupère auprès du serveur (dans le cas du client FTP il s'agit de fichiers, tandis que pour le client messagerie il s'agit de courrier électronique).

Dans un environnement purement client/serveur, les ordinateurs du réseau (les clients) ne peuvent voir que le serveur, c'est un des principaux atouts de ce modèle.

❑ Avantages

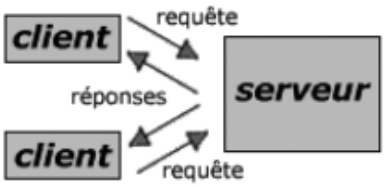
Le modèle client/serveur est particulièrement recommandé pour des réseaux nécessitant un grand niveau de fiabilité, ses principaux atouts sont :

- **des ressources centralisées** : étant donné que le serveur est au centre du réseau, il peut gérer des ressources communes à tous les utilisateurs, comme par exemple une base de données centralisée, afin d'éviter les problèmes de redondance et de contradiction ;
- **une meilleure sécurité** : car le nombre de points d'entrée permettant l'accès aux données est moins important ;
- **une administration au niveau serveur** : les clients ayant peu d'importance dans ce modèle, ils ont moins besoin d'être administrés ;
- **un réseau évolutif** : grâce à cette architecture il est possible de supprimer ou de rajouter des clients sans perturber le fonctionnement du réseau et sans modifications majeures.

❑ Inconvénients

L'architecture client/serveur a tout de même quelques lacunes parmi lesquelles :

- **un coût élevé** : dû à la technicité du serveur ;



- **un maillon faible** : le serveur est le seul maillon faible du réseau client/serveur, étant donné que tout le réseau est architecturé autour de lui ! Heureusement, le serveur a une grande tolérance aux pannes (notamment grâce au système RAID).

❑ Fonctionnement d'un système client/serveur

Un système client/serveur fonctionne selon le schéma suivant :

- Le client émet une requête vers le serveur grâce à son adresse et le port qui désigne un service particulier du serveur.
- Le serveur reçoit la demande et répond à l'aide de l'adresse de la machine client et son port.

Familles de réseaux

On distingue différents types de réseaux selon leur taille (en terme de nombre de machines), leur vitesse de transfert des données ainsi que leur étendue. On définit généralement les catégories de réseaux suivantes :

- **Réseaux personnels** ou PAN (*Personal Area Network*).
- **Réseaux locaux** ou LAN (*Local Area Network*).
- **Réseaux métropolitains** ou MAN (*Metropolitan Area Network*).
- **Réseaux étendus** ou WAN (*Wide Area Network*).

Il existe d'autres types de réseaux tels que les **TAN** (*Tiny Area Network*) identiques aux LAN mais moins étendus (deux à trois machines) ou les **CAN** (*Campus Area Network*) identiques au MAN avec une bande passante maximale entre tous les LAN du réseau.

Réseaux locaux (LAN)

Un réseau local (**LAN**, *Local Area Network*) désigne un ensemble d'ordinateurs appartenant à une même organisation et reliés entre eux dans une petite aire géographique par un réseau, souvent à l'aide d'une même technologie (Ethernet ou WIFI).

Un réseau local est donc un réseau sous sa forme la plus simple. La vitesse de transfert de données d'un réseau local peut s'échelonner entre 10 Mbps (pour un réseau Ethernet standard) à 1 Gbps (Gigabit Ethernet par exemple). La taille d'un réseau local peut atteindre jusqu'à 100 voire 1 000 machines.

En élargissant le contexte de la définition aux services qu'apporte le réseau local, il est possible de distinguer deux modes de fonctionnement :

- dans un environnement **d'égal à égal** (*peer to peer*), dans lequel il n'y a pas d'ordinateur central et chaque ordinateur a un rôle similaire ;
- dans un environnement **client/serveur**, dans lequel un ordinateur central fournit des services réseau aux utilisateurs.

Réseaux métropolitains (MAN)

Les réseaux métropolitains (**MAN**, *Metropolitan Area Network*) interconnectent plusieurs réseaux locaux géographiquement proches (au maximum quelques dizaines de kilomètres) avec un débit important. Ainsi, un réseau métropolitain permet à deux machines distantes de communiquer comme si elles faisaient partie d'un même réseau local.

Un MAN est formé d'équipements réseau interconnectés par des liens hauts débits (en général en fibre optique).

Réseaux étendus (WAN)

Un réseau étendu (**WAN**, *Wide Area Network*) interconnecte plusieurs réseaux locaux à travers de grandes distances géographiques.

Les débits disponibles sur un WAN résultent d'un arbitrage avec le coût des liaisons (qui augmente avec la distance) et peuvent être faibles.

Les WAN fonctionnent grâce à des équipements réseau appelés **routeurs**, qui permettent de déterminer le trajet le plus approprié pour atteindre une machine du réseau.

Réseaux locaux virtuels (VLAN)

Un **VLAN** (*Virtual Local Area Network* ou *Virtual LAN*, en français *Réseau local virtuel*) est un réseau local regroupant un ensemble de machines de façon logique et non physique.

En effet dans un réseau local la communication entre les différentes machines est régie par l'architecture physique. Grâce aux réseaux virtuels (VLAN), il est possible de s'affranchir des limitations de l'architecture physique (contraintes géographiques, contraintes d'adressage…) en définissant une segmentation logique (logicielle) basée sur un regroupement de machines grâce à des critères (adresses MAC, numéros de port, protocole, etc.).

❑ Typologie de VLAN

Plusieurs types de VLAN[1] sont définis, selon le critère de commutation et le niveau auquel il s'effectue :

- Un **VLAN de niveau 1** (aussi appelé **VLAN par port** ou *Port-Based VLAN*) définit un réseau virtuel en fonction des ports de raccordement sur le commutateur.
- Un **VLAN de niveau 2** (également appelé **VLAN MAC**, *VLAN par adresse IEEE* ou *MAC Address-Based VLAN*) définit un réseau virtuel en fonction des adresses MAC des stations. Ce type de VLAN est beaucoup plus souple que le VLAN par port car le réseau est indépendant de la localisation de la station.
- Un **VLAN de niveau 3** : on distingue plusieurs types de VLAN de niveau 3 :

  • Le **VLAN par sous-réseau** (*Network Address-Based VLAN*) associe des sous-réseaux selon l'adresse IP source des datagrammes. Ce type de solution apporte une grande souplesse dans la mesure où la configuration des commutateurs se modifie automatiquement en cas de déplacement d'une sta-

1.Les VLAN sont définis par les standards IEEE 802.1D, 802.1p, 802.1Q et 802.1O : *http://www.ieee802.org/1*.

tion. En contrepartie une légère dégradation de performances peut se faire sentir dans la mesure où les informations contenues dans les paquets doivent être analysées plus finement.

• Le **VLAN par protocole** (*Protocol-Based VLAN*) permet de créer un réseau virtuel par type de protocole (par exemple TCP/IP, IPX, AppleTalk…), regroupant ainsi toutes les machines utilisant le même protocole au sein d'un même réseau.

❑ Les avantages du VLAN

Le VLAN permet de définir un nouveau réseau au-dessus du réseau physique et à ce titre offre les avantages suivants :

- Plus de **souplesse pour l'administration et les modifications** du réseau car toute l'architecture peut être modifiée par simple paramétrage des commutateurs.
- Gain en **sécurité** car les informations sont encapsulées dans un niveau supplémentaire et éventuellement analysées.
- **Réduction de la diffusion du trafic** sur le réseau.

Transmission de données

Représentation des données

Le but d'un réseau est de transmettre des informations d'un ordinateur à un autre. Pour cela il faut dans un premier temps décider du type de codage de la donnée à envoyer, c'est-à-dire sa **représentation informatique**. Celle-ci sera différente selon le type de données, car il peut s'agir de : données sonores, données textuelles, données graphiques, données vidéo…

La représentation de ces données peut se diviser en deux catégories :

- Une **représentation numérique** : c'est-à-dire le codage de l'information en un ensemble de valeurs binaires, soit une suite de 0 et de 1.
- Une **représentation analogique** : c'est-à-dire que la donnée sera représentée par la variation d'une grandeur physique continue.

Support de transmission des données

Pour que la transmission de données puisse s'établir, il doit exister une ligne de transmission, appelée aussi **voie de transmission** ou **canal**, entre les deux machines.

Ces voies de transmission sont constituées de plusieurs tronçons permettant de faire circuler les données sous forme d'ondes électromagnétiques, électriques, lumineuses ou même acoustiques.

On a donc un phénomène vibratoire qui se propage sur le support physique.

Codage des signaux de transmission

Pour qu'il puisse y avoir un échange de données, un **codage des signaux de transmission** doit être choisi, celui-ci dépend essentiellement du support physique utilisé pour transférer les données, ainsi que de la garantie de l'intégrité des données et de la vitesse de transmission.

Transmission simultanée de données

La transmission de données est « simple » lorsque seules deux machines sont en communication, ou lorsque l'on envoie une seule donnée. Dans le cas contraire, il est nécessaire de mettre en place plusieurs lignes de transmission ou bien de partager la ligne entre les différents acteurs de la communication. Ce partage est appelé **multiplexage**.

Protocoles de communication

Un **protocole** est un langage commun utilisé par l'ensemble des acteurs de la communication pour échanger des données. Toutefois son rôle ne s'arrête pas là. Un protocole permet aussi :

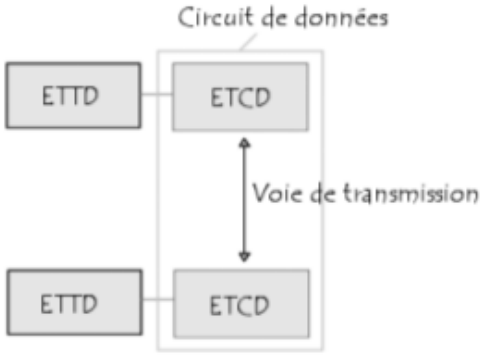
- l'initiation de la communication,
- l'échange de données,
- le contrôle d'erreur,
- une fin de communication « courtoise ».

Canal de transmission

Une ligne de transmission est une liaison entre les deux machines. On désigne généralement par le terme **émetteur** la machine qui envoie les données et par **récepteur** celle qui les reçoit. Les machines peuvent parfois être chacune à leur tour réceptrice ou émettrice (c'est le cas généralement des ordinateurs reliés par réseau).

La ligne de transmission, appelée aussi parfois **canal de transmission** ou **voie de transmission**, n'est pas forcément constituée d'un seul support physique de transmission, c'est pourquoi les machines d'extrémités (par opposition aux machines intermédiaires), appelées **ETTD** (Équipement terminal de traitement de données ou DTE, *Data Terminal Equipment*) possèdent chacune un équipement relatif au support physique auxquelles elles sont reliées, appelé **ETCD** (Équipement terminal de circuit de données ou DCE, *Data Communication Equipment*).

On nomme **circuit de données** l'ensemble constitué des ETCD de chaque machine et de la ligne de données.

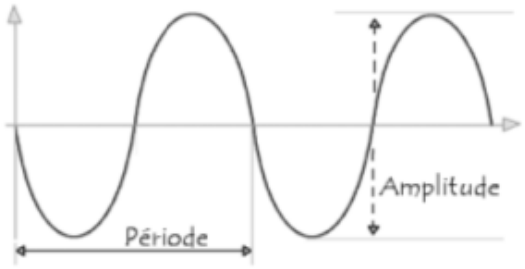


Notions sur les ondes électromagnétiques

La transmission de données sur un support physique se fait par propagation d'un phénomène vibratoire. Il en résulte un signal ondulatoire dépendant de la grandeur physique que l'on fait varier :

- dans le cas de la lumière, il s'agit d'une onde lumineuse ;
- dans le cas du son, il s'agit d'une onde acoustique ;
- dans le cas de la tension ou de l'intensité d'un courant électrique, il s'agit d'une onde électrique…

Les **ondes électromagnétiques** sont caractérisées par leur fréquence, leur amplitude et leur phase.



Types de supports physiques

Les **supports physiques de transmissions** sont les éléments permettant de faire circuler les informations entre les équipements de transmission. On classe généralement ces supports en trois catégories, selon le type de grandeur physique qu'ils permettent de faire circuler, donc de leur constitution physique :

- Les **supports filaires** permettent de faire circuler une grandeur électrique sur un câble généralement métallique.
- Les **supports aériens** désignent l'air ou le vide, ils permettent la circulation d'ondes électromagnétiques ou radioélectriques diverses.
- Les **supports optiques** permettent d'acheminer des informations sous forme lumineuse.

Selon le type de support physique, la grandeur physique a une vitesse de propagation plus ou moins rapide (par exemple le son se propage dans l'air à une vitesse de l'ordre de 300 m/s alors que la lumière a une célérité proche de 300 000 km/s).

Perturbations

La transmission de données sur une ligne ne se fait pas sans pertes. Tout d'abord le temps de transmission n'est pas immédiat, ce qui impose une certaine « synchronisation » des données à la réception.

D'autre part, des parasites ou des dégradations du signal peuvent apparaître :

- Les **parasites** (souvent appelés **bruit**) sont l'ensemble des perturbations modifiant localement la forme du signal. On distingue généralement deux types de bruit :

  • Le **bruit blanc** qui est une perturbation uniforme du signal, c'est-à-dire qu'il rajoute au signal une petite amplitude dont la moyenne sur le signal est nulle. Le bruit blanc est généralement caractérisé par un ratio appelé **rapport signal/bruit** qui traduit le pourcentage d'amplitude du signal par rapport au bruit (son unité est le décibel). Celui-ci doit être le plus élevé possible.

  • Les **bruits impulsifs** qui sont de petits pics d'intensité provoquant des erreurs de transmission.

- L'**affaiblissement** du signal représente la perte de signal en énergie dissipée dans la ligne. L'affaiblissement se traduit par un signal de sortie plus faible que le signal d'entrée et est caractérisé par la valeur :

  A = 20 log (niveau du signal en sortie/niveau du signal en entrée)

  L'affaiblissement est proportionnel à la longueur de la voie de transmission et à la fréquence du signal.

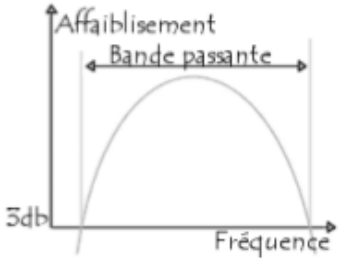
- La **distorsion** du signal caractérise le déphasage entre le signal en entrée et le signal en sortie.

Bande passante et capacité

La **bande passante** (*bandwidth*) d'une voie de transmission est l'intervalle de fréquence sur lequel le signal ne subit pas un affaiblissement supérieur à une certaine valeur (généralement 3 dB, car 3 décibels correspondent à un affaiblissement du signal de 50 %).

Une ligne de téléphone a par exemple une bande passante comprise entre 300 et 3 400 Hertz environ pour un taux d'affaiblissement égal à 3 dB.

La **capacité** d'une voie est la quantité d'informations (en bits) pouvant être transmis sur la voie en 1 seconde.



La capacité se caractérise de la façon suivante :

$$C = W \log2 (1 + S/N)$$

avec C la capacité (en bps), *W* la largeur de bande (en Hz) et *S/N* qui représente le rapport signal sur bruit de la voie.

Qualité de service

Le terme **QoS** (*Quality of Service* ou qualité de service) désigne la capacité à fournir un service (notamment un support de communication) conforme à des exigences en matière de temps de réponse et de bande passante.

Appliquée aux réseaux à commutation de paquets (réseaux basés sur l'utilisation de routeurs) la QoS désigne l'aptitude à pouvoir garantir un niveau acceptable de perte de paquets, défini contractuellement, pour un usage donné (voix sur IP, vidéoconférence, etc.).

❑ Niveaux de service

Le terme **niveau de service** (*service level*) définit le niveau d'exigence pour la capacité d'un réseau à fournir un service point à point ou de bout en bout avec un trafic donné. On définit généralement trois niveaux de QoS :

- **Meilleur effort** (*best effort*) : ne fournissant aucune différenciation entre plusieurs flux réseaux et ne permettant aucune garantie. Ce niveau de service est ainsi parfois appelé *lack of QoS*.

- **Service différencié** (*differenciated service* ou *soft QoS*) : permettant de définir des niveaux de priorité aux différents flux réseau sans toutefois fournir une garantie stricte.
- **Service garanti** (*guaranteed service* ou *hard QoS*) : consistant à réserver des ressources réseau pour certains types de flux. Le principal mécanisme utilisé pour obtenir un tel niveau de service est RSVP (*Resource reSerVation Protocol*, traduisez *Protocole de réservation de ressources*).

❑ Critères de qualité de service

Les principaux critères permettant d'apprécier la qualité de service sont les suivants :

- **Débit** (*bandwidth*) : parfois appelé *bande passante* par abus de langage, il définit le volume maximal d'information (bits) par unité de temps.
- **Gigue** (*jitter*) : elle représente la fluctuation du signal numérique, dans le temps ou en phase.
- **Latence**, **délai** ou **temps de réponse** (*delay*) : elle caractérise le retard entre l'émission et la réception d'un paquet.
- **Perte de paquet** (*packet loss*) : elle correspond à la non-délivrance d'un paquet de données, la plupart du temps due à un encombrement du réseau.
- **Déséquencement** (*desequencing*) : il s'agit d'une modification de l'ordre d'arrivée des paquets.

Modes de transmission

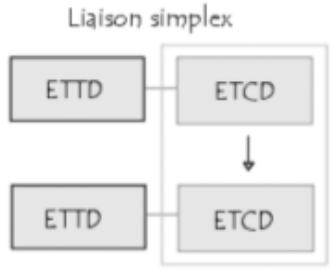
Pour une transmission donnée sur une voie de communication entre deux machines la communication peut s'effectuer de différentes manières. La transmission est caractérisée par :

- le sens des échanges,
- le **mode de transmission** : il s'agit du nombre de bits envoyés simultanément,
- la synchronisation : il s'agit de la synchronisation entre émetteur et récepteur.

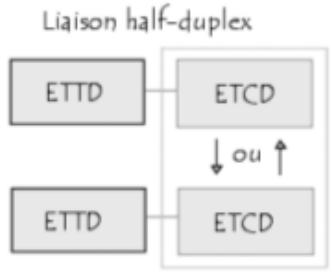
Liaisons simplex, half-duplex et full-duplex

Selon le sens des échanges, on distingue trois modes de transmission :

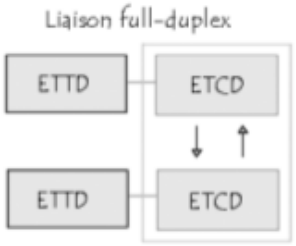
- La **liaison simplex** qui caractérise une liaison dans laquelle les données circulent dans un seul sens, c'est-à-dire de l'émetteur vers le récepteur. Ce genre de liaison est utile lorsque les données n'ont pas besoin de circuler dans les deux sens (par exemple de votre ordinateur vers l'imprimante ou de la souris vers l'ordinateur...).



- La **liaison half-duplex** (parfois appelée *liaison à l'alternat* ou *semi-duplex*) qui caractérise une liaison dans laquelle les données circulent dans un sens ou dans l'autre, mais pas dans les deux sens simultanément. Ainsi, avec ce genre de liaison chaque extrémité de la liaison émet à son tour. Ce type de liaison permet d'avoir une liaison bidirectionnelle utilisant la capacité totale de la ligne.



- La **liaison full-duplex** (appelée aussi *duplex intégral*) qui caractérise une liaison dans laquelle les données circulent de façon bidirectionnelle et simultanément. Ainsi, chaque extrémité de la ligne peut émettre et recevoir en même temps, ce qui signifie que la bande passante est divisée par deux pour chaque sens d'émission des données si un même support de transmission est utilisé pour les deux transmissions.

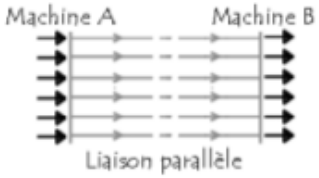


Transmission série et parallèle

Le **mode de transmission** désigne le nombre d'unités élémentaires d'informations (bits) pouvant être simultanément transmises par le canal de communication. En effet, un processeur (donc l'ordinateur en général) ne traite jamais (dans le cas des processeurs récents) un seul bit à la fois, il permet généralement d'en traiter plusieurs (la plupart du temps 8, soit un octet), c'est la raison pour laquelle la liaison de base sur un ordinateur est une liaison parallèle.

❑ Liaison parallèle

On désigne par **liaison parallèle** la transmission simultanée de *N* bits. Ces bits sont envoyés simultanément sur *N* voies différentes (une voie étant par exemple un fil, un câble ou tout autre support physique). La liaison parallèle des ordinateurs de type PC nécessite généralement 10 fils.



Ces voies peuvent être :

- *N* lignes physiques : auquel cas chaque bit est envoyé sur une ligne physique (c'est la raison pour laquelle les câbles parallèles sont composés de plusieurs fils en nappe).
- Une ligne physique divisée en plusieurs sous-canaux par division de la bande passante. Ainsi chaque bit est transmis sur une fréquence différente...

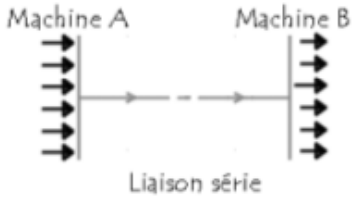
Attention !

Étant donné que les fils conducteurs sont proches sur une nappe, il existe des perturbations (notamment à haut débit) dégradant la qualité du signal...

❑ Liaison série

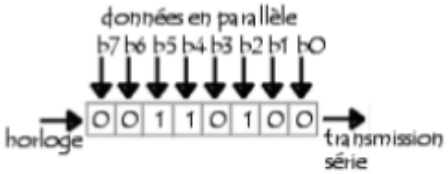
Dans une **liaison en série**, les données sont envoyées bit par bit sur la voie de transmission. Toutefois, étant donné que la plupart des processeurs traitent les informations de façon parallèle, il s'agit de transformer des données arrivant de façon parallèle en données en série au niveau de l'émetteur, et inversement au niveau du récepteur

Ces opérations sont réalisées grâce à un **contrôleur de communication** (la plupart du temps une puce UART, *Universal Asynchronous Receiver Transmitter*). Le contrôleur de communication fonctionne de la façon suivante :

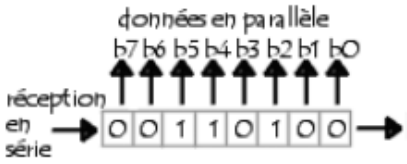


- La **transformation parallèle-série** se fait grâce à un registre de décalage. Le **registre de décalage** permet, grâce à une horloge, de décaler le registre (l'ensemble des données pré-

sentes en parallèle) d'une position à gauche, puis d'émettre le bit de poids fort (celui le plus à gauche) et ainsi de suite :



➤ La **transformation série-parallèle** se fait quasiment de la même façon grâce au registre de décalage. Le registre de décalage permet de décaler le registre d'une position à gauche à chaque réception d'un bit, puis d'émettre la totalité du registre en parallèle lorsque celui-ci est plein et ainsi de suite :



Transmission synchrone et asynchrone

Étant donné les problèmes que pose la liaison de type parallèle, c'est la **liaison série** qui est la plus utilisée. Toutefois, puisqu'un seul fil transporte l'information, il existe un problème de synchronisation entre l'émetteur et le récepteur, c'est-à-dire que le récepteur ne peut pas *a priori* distinguer les caractères (ou même de manière plus générale les séquences de bits) car les bits sont envoyés successivement. Il existe donc deux types de transmission permettant de remédier à ce problème : la liaison synchrone et la liaison asynchrone.

❑ La liaison asynchrone

Dans une **liaison asynchrone** chaque caractère est émis de façon irrégulière dans le temps (par exemple un utilisateur envoyant en temps réel des caractères saisis au clavier). Ainsi, imaginons qu'un seul bit soit transmis pendant une longue période de silence… le récepteur ne pourrait savoir s'il s'agit de 00010000 ou 10000000 ou encore 00000100…

Afin de remédier à ce problème, chaque caractère est précédé d'une information indiquant le début de la transmission du caractère (l'information de début d'émission est appelée **bit START**) et terminé par l'envoi d'une information de fin de transmission (appelée **bit STOP**, il peut éventuellement y avoir plusieurs bits STOP).

❑ La liaison synchrone

Dans une **liaison synchrone** émetteur et récepteur sont cadencés à la même horloge. Le récepteur reçoit de façon continue (même lorsqu'aucun bit n'est transmis) les informations au rythme où l'émetteur les envoie. C'est pourquoi il est nécessaire qu'émetteur et récepteur soient cadencés à la même vitesse. De plus, des informations supplémentaires sont insérées afin de garantir l'absence d'erreurs lors de la transmission.

Lors d'une transmission synchrone, les bits sont envoyés de façon successive sans séparation entre chaque caractère, il est donc nécessaire d'insérer des éléments de synchronisation, on parle alors de **synchronisation au niveau caractère**.

Le principal inconvénient de la transmission synchrone est la reconnaissance des informations au niveau du récepteur, car il peut exister des différences entre les horloges de l'émetteur et du récepteur. C'est pourquoi chaque envoi de données doit se faire sur une période assez longue pour que le récepteur la distingue. Ainsi, la **vitesse de transmission** ne peut pas être très élevée dans une liaison synchrone.

Transmission analogique

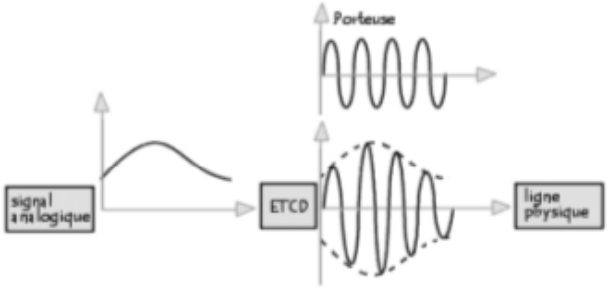
La **transmission analogique** de données consiste à faire circuler des informations sur un support physique de transmission sous la forme d'une onde. La transmission des données se fait par l'intermédiaire d'une **onde porteuse**, une onde simple dont le seul but est de transporter les données par modification de l'une de ces caractéristiques (amplitude, fréquence ou phase), c'est la raison pour laquelle la transmission analogique est généralement appelée **transmission par modulation d'onde porteuse**. Selon le paramètre de l'onde porteuse que l'on fait varier, on distinguera trois types de transmissions analogiques :

➤ la transmission par modulation **d'amplitude** de la porteuse,

- la transmission par modulation de **fréquence** de la porteuse,
- la transmission par modulation de **phase** de la porteuse.

Transmission analogique de données analogiques

Ce type de transmission désigne un schéma dans lequel les données à transmettre sont directement **sous forme analogique**. Ainsi, pour transmettre ce signal, l'ETCD doit effectuer une convolution continue du signal à transmettre et de l'onde porteuse, c'est-à-dire que l'onde qu'il va transmettre va être une association de l'onde porteuse et du signal à transmettre. Dans le cas d'une transmission par modulation d'amplitude par exemple la transmission se fait de la manière suivante :



Transmission analogique de données numériques

Lorsque les données numériques ont fait leur apparition, les systèmes de transmission étaient encore analogiques, il a donc fallu trouver un moyen de transmettre des **données numériques** de façon analogique.

La solution à ce problème était le **modem** :

- *à l'émission* : il convertit des données numériques (un ensemble de 0 et de 1) en signaux analogiques (la variation continue d'un phénomène physique), on appelle ce procédé la **modulation**.
- *à la réception* : il convertit le signal analogique en données numériques, on appelle ce procédé la **démodulation**.

À savoir

Modem est en réalité l'acronyme de *MO*dulateur/*DEM*odulateur.

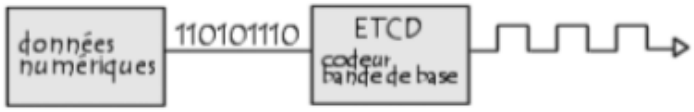
Transmission numérique

La **transmission numérique** consiste à faire transiter les informations sur le support physique de communication sous forme de signaux numériques. Ainsi, des données analogiques devront préalablement être numérisées avant d'être transmises.

Toutefois, les informations numériques ne peuvent pas circuler sous forme de 0 et de 1 directement, il s'agit donc de les coder sous forme d'un signal possédant deux états, par exemple :

- deux niveaux de tension par rapport à la masse,
- la différence de tension entre deux fils,
- la présence/absence de courant dans un fil,
- la présence/absence de lumière…

Cette transformation de l'information binaire sous forme d'un signal à deux états est réalisée par l'ETCD, appelé aussi **codeur bande de base**, d'où l'appellation de **transmission en bande de base** pour désigner la transmission numérique…



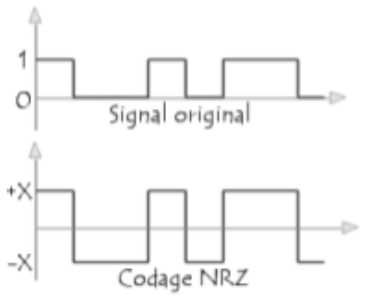
Codage des signaux

Pour que la transmission soit optimale, il est nécessaire que le signal soit codé de façon à faciliter sa transmission sur le support physique. Il existe pour cela différents systèmes de codage pouvant se classer en deux catégories :

- Le **codage à deux niveaux** : le signal peut prendre uniquement une valeur strictement négative ou strictement positive (-X ou +X, X représentant une valeur de la grandeur physique permettant de transporter le signal).
- Le **codage à trois niveaux** : le signal peut prendre une valeur strictement négative, nulle ou strictement positive (-X, 0 ou +X).

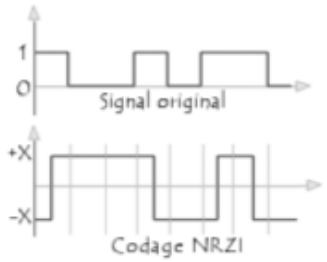
Codage NRZ

Le **codage NRZ** (*No Return to Zero* ou *Non retour à zéro*) est le premier système de codage, car c'est le plus simple. Il consiste tout simplement à transformer les 0 en -X et les 1 en +X, de cette façon on a un codage bipolaire dans lequel le signal n'est jamais nul. Par conséquent, le récepteur peut déterminer la présence ou non d'un signal



Codage NRZI

Le **codage NRZI** (*No Return to Zero Inverted*) est sensiblement différent du codage NRZ. Avec ce codage, lorsque le bit est à 1, le signal change d'état après le top de l'horloge. Lorsque le bit est à 0, le signal ne subit aucun changement d'état.



Le codage NRZI possède de nombreux avantages, dont :

- la détection de la présence ou non du signal ;
- la nécessité d'un faible courant de transmission du signal.

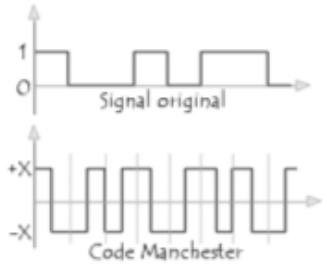
Par contre, il possède un défaut : lors d'une suite de zéro, la présence d'un courant continu gêne la synchronisation entre émetteur et récepteur.

Codage Manchester

Le **codage Manchester**, également appelé *codage biphase* ou **PE** (*Phase Encode*), introduit une transition au milieu de chaque intervalle. Il consiste en fait à faire un OU exclusif (XOR) entre le signal et le signal d'horloge, ce qui se traduit par un front montant lorsque le bit est à zéro, un front descendant dans le cas contraire.

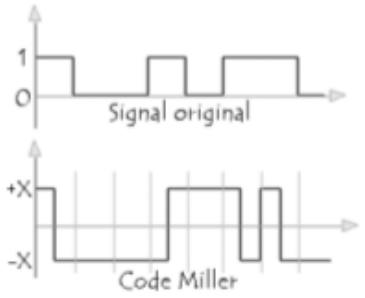
Le codage Manchester possède de nombreux avantages, dont :

- le non passage par zéro, rendant possible par le récepteur la détection d'un signal ;
- un spectre occupant une large bande.



Codage *Delay Mode* (ou Miller)

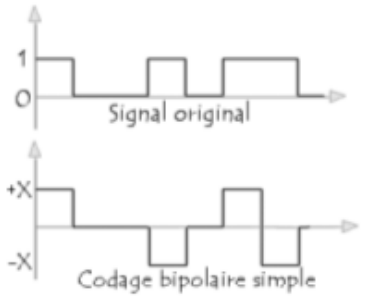
Le **codage *Delay Mode***, aussi appelé **codage Miller**, est proche du codage Manchester, à la différence près qu'une transition apparaît au milieu de l'intervalle uniquement lorsque le bit est à 1, cela permet de plus grands débits…



Codage bipolaire simple

Le **codage bipolaire simple** est un codage sur trois niveaux. Il propose donc trois états de la grandeur transportée sur le support physique :

- la valeur *0* lorsque le bit est à 0,
- alternativement X et -X lorsque le bit est à 1.



Câblage coaxial

Le **câble coaxial** (*coaxial cable*) a longtemps été LE câblage de prédilection, pour la simple raison qu'il est peu coûteux et facilement manipulable (poids, flexibilité…). Il est aujourd'hui obsolète et remplacé par le *câblage en paire torsadée*.

Un câble coaxial est constitué d'une partie centrale (appelée âme), c'est-à-dire un fil de cuivre, enveloppé dans un isolant, puis d'un blindage métallique tressé et enfin d'une gaine extérieure :

À noter qu'il existe des câbles coaxiaux possédant un **blindage double** (une couche isolante, une couche de blindage) ainsi que des câbles coaxiaux à **quadruple blindage** (deux couches isolantes, deux couches de blindage). Il existe deux grands types de câbles coaxiaux :

Thinnet (10Base2)

Le **10Base2** (câble coaxial fin) est un câble de fin diamètre (6 mm), de couleur blanche (ou grisâtre) par convention. Très flexible, il peut être utilisé dans la majorité des réseaux en le connectant directement sur la carte réseau. Il permet de transporter un signal sur une distance d'environ 185 mètres sans affaiblissement.

Il fait partie de la famille des RG-58 dont l'impédance (la résistance) est de 50 ohms. On distingue les différents types de câbles coaxiaux fins selon la partie centrale du câble (âme)

Thicknet (10Base5)

Le **10Base5** (câble coaxial épais appelé **Thicknet**, *Thick Ethernet* ou encore *Yellow Cable* en raison de sa couleur jaune conventionnelle) est un câble blindé de plus gros diamètre (12 mm) et de

50 ohms d'impédance. Il a longtemps été utilisé dans les réseaux Ethernet, ce qui lui a valu l'appellation de **câble Ethernet standard**.

Son âme de plus gros diamètre lui permet de transmettre sans affaiblissement des signaux sur une distance atteignant 500 mètres (sans réamplification du signal). Sa bande passante est de 10 Mbps Il est donc employé très souvent comme câble principal (*backbone*) pour relier des petits réseaux dont les ordinateurs sont connectés avec du Thinnet. Toutefois, étant donné son diamètre il est moins flexible que le Thinnet.

Thinnet et Thicknet utilisent tous deux des connecteurs **BNC** (*Bayonet-Neill-Concelman* ou *British Naval Connector*) servant à relier les câbles aux ordinateurs. Ces connecteurs se subdivisent selon les types suivants :

- **Connecteur de câble BNC** : il est soudé ou serti à l'extrémité du câble.
- **Connecteur BNC en T** : il relie la carte réseau des ordinateurs au câble du réseau.
- **Prolongateur BNC** : il relie deux segments de câble coaxial afin d'obtenir un câble plus long.
- **Bouchon de terminaison BNC** : il est placé à chaque extrémité du câble d'un réseau en bus pour absorber les signaux parasites. Il est relié à la masse. Un réseau bus ne peut pas fonctionner sans ; il serait mis hors service.

La connexion entre Thinnet et Thicknet se fait grâce à un **transceiver**. Il est muni d'une prise dite « vampire » qui effectue la connexion physique réelle à la partie centrale du Thinnet en transperçant l'enveloppe isolante.

Le câble du transceiver (*drop cable*) est branché sur un connecteur **AUI** (*Attachment Unit Interface*) appelé également connecteur **DIX** (*Digital Intel Xerox*) ou connecteur **DB 15** (*SUB-D 15*).

Câblage à paire torsadée

Dans sa forme la plus simple, le **câble à paire torsadée** (*twisted-pair cable*) est constitué de deux brins de cuivre entrelacés en torsade et recouverts d'isolants.

Un câble est souvent fabriqué à partir de plusieurs paires torsadées regroupées et placées à l'intérieur de la gaine protectrice. L'entrelacement permet de supprimer les bruits (interférences électriques) dus aux paires adjacentes ou autres sources (moteurs, relais, transformateur).

La paire torsadée est donc adaptée à la mise en réseau local d'un faible parc avec un budget limité, et une connectique simple. Toutefois, sur de longues distances avec des débits élevés elle ne permet pas de garantir l'intégrité des données (c'est-à-dire la transmission sans perte de données).

Paire torsadée non blindée (UTP)

Le **câble UTP** (*Unshielded Twisted-Pair*) obéit à la spécification 10BaseT. C'est le type de paire torsadée le plus utilisé et le plus répandu pour les réseaux locaux. Voici quelques caractéristiques :

- Longueur maximale d'un segment : 100 mètres.
- Composition : 2 fils de cuivre recouverts d'isolant.
- Normes UTP : conditionnent le nombre de torsions par pied (33 cm) de câble en fonction de l'utilisation prévue
- UTP : répertorié dans la norme Commercial Building Wiring Standard 568 de l'EIA/TIA (*Electronic Industries Association / Telecommunication Industries Association*). La **norme EIA/TIA 568** a utilisé UTP pour créer des normes applicables à toutes sortes de locaux et de contextes de câblage qui garantissent au public l'homogénéité des produits. Ces normes incluent cinq catégories de câbles UTP :

  • **Catégorie 1** : câble téléphonique traditionnel (transfert de voix mais pas de données).

  • **Catégorie 2** : transmission des données à 4 Mbit/s maximum (RNIS), ce type de câble est composé de 4 paires torsadées.

  • **Catégorie 3** : 10 Mbit/s maximum, ce type de câble est composé de 4 paires torsadées et de 3 torsions par pied.

  • **Catégorie 4** : 16 Mbit/s maximum, ce type de câble est composé de 4 paires torsadées en cuivre.

  • **Catégorie 5** : 100 Mbit/s maximum, ce type de câble est composé de 4 paires torsadées en cuivre.

- **Catégorie 5e** : 1 000 Mbit/s maximum.

La plupart des installations téléphoniques utilisent un câble UTP. Beaucoup de locaux sont pré-câblés pour ce genre d'installation (souvent en nombre suffisant pour satisfaire les futurs besoins). Si la paire torsadée pré-installée est de bonne qualité, il est possible de transférer des données et donc l'utiliser en réseau informatique. Il faut faire attention cependant aux nombres de torsades et aux autres caractéristiques électriques requises pour une transmission de données de qualité.

Le majeur problème provient du fait que le câble UTP est particulièrement sujet aux interférences (signaux d'une ligne se mélangeant à ceux d'une autre ligne). La seule solution réside dans le blindage.

- Catégorie 6 : testé jusqu'à 250 MHz.
- Catégorie 6a / classe Ea : extension de la catégorie 6 avec une bande passante de 500 MHz.
- Catégorie 7 / classe F : testé à 600 MHz4. Ne reconnaît pas le connecteur RJ45, et donc très peu utilisée.
- Catégorie 7a / classe Fa : testée à 1 GHz et permet un débit allant jusqu'à 10 Gbit/s. Le connecteur RJ45 n'est pas reconnu, ce qui créée les mêmes difficultés que la catégorie 7.

Paire torsadée blindée (STP)

Le **câble STP** (*Shielded Twisted Pair*) utilise une gaine de cuivre de meilleure qualité et plus protectrice que la gaine utilisée par le câble UTP. Il contient une enveloppe de protection entre les paires et autour des paires. Dans le câble STP, les fils de cuivre d'une paire sont eux-mêmes torsadés, ce qui fournit au câble STP un excellent blindage, c'est-à-dire une meilleure protection contre les interférences. Il permet également une transmission plus rapide et sur une plus longue distance.

La paire torsadée se branche à l'aide d'un **connecteur RJ-45**. Ce connecteur est similaire au RJ-11 utilisé dans la téléphonie mais différent sur certains points : le RJ-45 est légèrement plus grand et ne peut être inséré dans une prise de téléphone RJ-11. De plus, le RJ-45 se compose de huit broches alors que le RJ-11 n'en possède que six, voire quatre généralement.

Fibre optique

La **fibre optique** est un câble possédant de nombreux avantages :

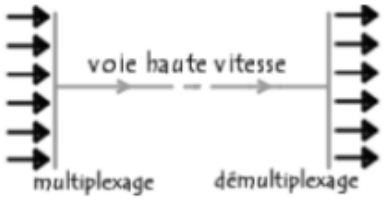
- légèreté,
- immunité au bruit,
- faible atténuation,
- tolère des débits de l'ordre de 100 Mbps,
- largeur de bande de quelques dizaines de mégahertz à plusieurs Gigahertz (fibre monomode).

Le câblage optique est particulièrement adapté à la liaison entre répartiteurs (liaison centrale entre plusieurs bâtiments, appelée **backbone** ou *épine dorsale*) car elle permet des connexions sur des longues distances (de quelques kilomètres à 60 km dans le cas de fibre monomode) sans nécessiter de mise à la masse. De plus ce type de câble est très sûr car il est extrêmement difficile de mettre un tel câble sur écoute.

Toutefois, malgré sa flexibilité mécanique, ce type de câble ne convient pas pour des connexions dans un réseau local car son installation est problématique et son coût élevé. C'est la raison pour laquelle on lui préférera la paire torsadée ou le câble coaxial pour de petites liaisons.

Multiplexage

On appelle **multiplexage**, la capacité à transmettre sur un seul support physique, appelé *voie haute vitesse,* des données provenant de plusieurs paires d'équipements (émetteurs et récepteurs), appelées *voies basse vitesse*.



On appelle **multiplexeur** l'équipement de multiplexage permettant de combiner les signaux provenant des émetteurs pour les faire transiter sur la voie haute vitesse.

On nomme **démultiplexeur** l'équipement de multiplexage sur lequel les récepteurs sont raccordés à la voie haute vitesse.

Multiplexage fréquentiel

Le **multiplexage fréquentiel** (appelé aussi MRF, Multiplexage par répartition de fréquence, ou FDM, *Frequency Division Multiplexing*) permet de partager la bande de fréquence disponible sur la voie haute vitesse en une série de canaux de plus faible largeur afin de faire circuler en permanence sur la voie haute vitesse les signaux provenant des différentes voies basse vitesse.

Ce procédé est notamment utilisé sur les lignes téléphoniques et les liaisons physiques en paires torsadées afin d'en accroître le débit.

Multiplexage temporel

Le **multiplexage temporel** (appelé aussi MRT, Multiplexage par répartition dans le temps, ou TDM, *Time Division Multiplexing*) permet d'échantillonner les signaux des différentes voies basse vitesse et de les transmettre successivement sur la voie haute vitesse en leur allouant la totalité de la bande passante, et ce, même si celles-ci ne possèdent pas de données à émettre.

Multiplexage statistique

Le **multiplexage statistique** reprend les caractéristiques du multiplexage temporel, à la différence près qu'il transmet sur la voie haute vitesse uniquement les voies basse vitesse comportant des données. Le nom de ce type de multiplexage provient du fait que les multiplexeurs se basent sur des statistiques concernant le débit de chaque ligne basse vitesse.

Ainsi, la ligne haute vitesse ne transmettant pas les « blancs », les performances sont meilleures qu'avec un multiplexage temporel.

Protocoles réseau

Notion de protocole

Un **protocole** est une méthode standard qui permet la communication entre des processus (s'exécutant éventuellement sur différentes machines), c'est-à-dire un ensemble de règles et de procédures à respecter pour émettre et recevoir des données sur un réseau. Il en existe plusieurs selon ce que l'on attend de la communication. Certains protocoles seront par exemple spécialisés dans l'échange de fichiers (le FTP), d'autres pourront servir à gérer simplement l'état de la transmission et des erreurs (c'est le cas du protocole ICMP)...

Sur Internet, les protocoles utilisés font partie d'une suite de protocoles, c'est-à-dire un ensemble de protocoles reliés entre eux. Cette suite de protocole s'appelle **TCP/IP**. Elle contient, entre autres, les protocoles suivants : HTTP, FTP, ARP, ICMP, IP, TCP, UDP, SMTP, Telnet, NNTP.

Protocoles orientés et non orientés connexion

On classe généralement les protocoles en deux catégories selon le niveau de contrôle des données que l'on désire :

- Les **protocoles orientés connexion** : il s'agit des protocoles opérant un contrôle de transmission des données **pendant** une communication établie entre deux machines. Dans un tel schéma, la machine réceptrice envoie des accusés de récep-

tion lors de la communication, ainsi la machine émettrice est garante de la validité des données qu'elle envoie. Les données sont ainsi envoyées sous forme de flot. Ex. : TCP est un protocole orienté connexion.

- Les **protocoles non orientés connexion** : il s'agit d'un mode de communication dans lequel la machine émettrice envoie des données sans prévenir la machine réceptrice, et la machine réceptrice reçoit les données sans envoyer d'avis de réception à la première. Les données sont ainsi envoyées sous forme de blocs (datagrammes). Ex. : UDP est un protocole non orienté connexion.

Protocole et implémentation

Un **protocole** définit uniquement la façon par laquelle les machines doivent communiquer, c'est-à-dire la forme et la séquence des données à échanger. Il ne définit pas la manière de programmer un logiciel pour qu'il soit compatible avec le protocole : on appelle **implémentation** la traduction d'un protocole en langage informatique.

Les **spécifications** des protocoles ne sont jamais exhaustives, aussi il est courant que les implémentations soient l'objet d'une certaine interprétation des spécifications, ce qui conduit parfois à des spécificités de certaines implémentations ou pire à des incompatibilités ou des failles de sécurité !

Adresse IP

Sur Internet, les ordinateurs communiquent entre eux grâce au protocole IP (*Internet Protocol*), qui utilise des adresses numériques, appelées **adresses IP**. C'est l'**ICANN** (*Internet Corporation for Assigned Names and Numbers*, remplaçant l'IANA, *Internet Assigned Numbers Agency*, depuis 1998) qui est chargée d'attribuer des adresses IP publiques, c'est-à-dire les adresses IP des ordinateurs directement connectés sur le réseau public Internet.

Ces adresses servent aux ordinateurs du réseau pour communiquer entre eux, ainsi chaque ordinateur d'un réseau possède une adresse IP unique sur ce réseau.

À savoir

L'Internet Protocol version 4 ou IPv4 est la première version d'IP à avoir été largement déployée, et forme encore la base (en 2012) de l'Internet. Elle est décrite dans la RFC 791.

Déchiffrement d'une adresse IPv4

Une adresse IPv4 est une adresse 32 bits, généralement notée sous forme de 4 nombres (4 octets) compris entre 0 et 255 comme xxx.xxx.xxx.xxx. Par exemple, *194.153.205.26* est une adresse IPv4. On distingue en fait deux parties dans l'adresse IP :

- l'**ID de réseau** (*netID*) qui désigne le réseau et qui est donnée par les nombres de gauche ;
- l'**ID d'hôte** (*host-ID*) qui désigne les ordinateurs de ce réseau et qui est donnée par les nombres de droite.

Imaginons un réseau noté *58.0.0.0*. Les ordinateurs de ce réseau pourront posséder les adresses IP allant de *58.0.0.1* à *58.255.255.254*. Il s'agit donc d'attribuer les numéros de telle façon qu'il y ait une organisation dans la hiérarchie des ordinateurs et des serveurs.

Ainsi, plus le nombre de bits réservés au réseau est petit, plus celui-ci peut contenir d'ordinateurs.

En effet, un réseau noté *102.0.0.0* peut contenir des ordinateurs dont l'adresse IP peut varier entre 102.0.0.1 et 102.255.255.254 (256*256*256-2 = 16 777 214 possibilités), tandis qu'un réseau noté *194.26* ne pourra contenir que des ordinateurs dont l'adresse IP sera comprise entre 194.26.0.1 et 194.26.255.254 (256*256-2 = 65 534 possibilités), c'est la notion de **classe d'adresse IP**.

Adresses particulières

En annulant la partie host-ID, c'est-à-dire en remplaçant les bits réservés aux machines du réseau par des zéros (par exemple *194.28.12.0*), on obtient ce que l'on appelle l'**adresse réseau**.

Cette adresse ne peut être attribuée à aucun des ordinateurs du réseau.

Lorsque la partie netID est annulée, c'est-à-dire lorsque les bits réservés au réseau sont remplacés par des zéros, on obtient l'**adresse machine**. Cette adresse représente la machine spécifiée par le host-ID qui se trouve sur le réseau courant.

Lorsque tous les bits de la partie host-ID sont à 1, l'adresse obtenue est appelée l'**adresse de diffusion** (*broadcast*). Il s'agit d'une adresse spécifique, permettant d'envoyer un message à toutes les machines situées sur le réseau spécifié par le *netID*.

À l'inverse, lorsque tous les bits de la partie netID sont à 1, l'adresse obtenue constitue l'**adresse de diffusion limitée** (*multicast*).

Enfin, l'adresse **127.0.0.1** est appelée **adresse de rebouclage** (*loopback*), car elle désigne la **machine locale** (*localhost*).

Classes de réseaux

Les adresses IP sont réparties en classes, selon le nombre d'octets qui représentent le réseau.

- Classe A

Dans une adresse IP de classe A, le **premier octet** représente le réseau. Le **bit de poids fort** (le premier bit, celui de gauche) est à zéro, ce qui signifie qu'il y a 2^7 (00000000 à 01111111) possibilités de réseaux, soit 128 possibilités. Toutefois, le réseau 0 (bits valant 00000000) n'existe pas et le nombre 127 est réservé pour désigner votre machine.

Les réseaux disponibles en classe A sont donc les réseaux allant de **1.0.0.0** à **126.0.0.0** (les derniers octets sont des zéros ce qui indique qu'il s'agit bien de réseaux et non d'ordinateurs !)

Les trois octets de droite représentent les ordinateurs du réseau, le réseau peut donc contenir un nombre d'ordinateur égal à :

$$2^{24}-2 = 16\ 777\ 214 \text{ ordinateurs}$$

Exemple

Une adresse IP de classe A, en binaire, ressemble à ceci :

```
0  xxxxxxx    xxxxxxxx  xxxxxxxx  xxxxxxxx
Réseau        Ordinateurs
```

- Classe B

Dans une adresse IP de classe B, les **deux premiers octets** représentent le réseau. Les deux premiers bits sont 1 et 0, ce qui signifie qu'il y a 2^{14} (10 000000 00000000 à 10 111111 11111111) possibilités de réseaux, soit 16 384 réseaux possibles. Les réseaux disponibles en classe B sont donc les réseaux allant de **128.0.0.0** à **191.255.0.0**.

Les deux octets de droite représentent les ordinateurs du réseau. Le réseau peut donc contenir un nombre d'ordinateurs égal à :

$$2^{16}-2^{1} = 65\ 534 \text{ ordinateurs}$$

Exemple

Une adresse IP de classe B, en binaire, ressemble à ceci :

```
10  xxxxxx  xxxxxxxx    xxxxxxxx  xxxxxxxx
Réseau                  Ordinateurs
```

- Classe C

Dans une adresse IP de classe C, les **trois premiers octets** représentent le réseau. Les trois premiers bits sont 1, 1 et 0, ce qui signifie qu'il y a 2^{21} possibilités de réseaux, c'est-à-dire 2 097 152. Les réseaux disponibles en classe C sont donc les réseaux allant de **192.0.0.0** à **223.255.255.0**.

L'octet de droite représente les ordinateurs du réseau, le réseau peut donc contenir :

$$2^{8}-2^{1} = 254 \text{ ordinateurs}$$

Exemple

Une adresse IP de classe C, en binaire, ressemble à ceci :

```
110  xxxxx  xxxxxxxx  xxxxxxxx    xxxxxxxx
Réseau                           Ordinateurs
```

Attribution des adresses IP

Le but de la division des adresses IP en trois classes A, B et C est de faciliter la recherche d'un ordinateur sur le réseau. En effet avec cette notation il est possible de rechercher dans un premier

temps le réseau que l'on désire atteindre puis de chercher un ordinateur sur celui-ci. Ainsi l'**attribution des adresses** IP se fait selon la taille du réseau.

Classe	Nombre de réseaux possibles	Nombre d'ordinateurs maximum sur chacun
A	126	16 777 214
B	16 384	65 534
C	2 097 152	254

Les adresses de classe A sont réservées aux très grands réseaux, tandis que l'on attribuera les adresses de classe C à des petits réseaux d'entreprise par exemple.

Adresses IP réservées

Il arrive fréquemment dans une entreprise ou une organisation qu'un seul ordinateur soit relié à **Internet**, c'est par son intermédiaire que les autres ordinateurs du réseau accèdent à Internet (on parle généralement de proxy ou de passerelle).

Dans ce cas de figure, seul l'ordinateur relié à Internet a besoin de réserver une adresse IP auprès de l'ICANN. Toutefois, les autres ordinateurs ont tout de même besoin d'une adresse IP pour pouvoir communiquer ensemble en interne.

Ainsi, l'ICANN a réservé une poignée d'adresses dans chaque classe pour permettre d'affecter une adresse IP aux ordinateurs d'un réseau local relié à Internet sans risquer de créer des conflits d'adresses IP sur le réseau des réseaux. Il s'agit des adresses suivantes :

- **Adresses IP privées de classe A** : 10.0.0.1 à 10.255.255.254, permettant la création de vastes réseaux privés comprenant des milliers d'ordinateurs.
- **Adresses IP privées de classe B** : 172.16.0.1 à 172.31.255.254, permettant de créer des réseaux privés de taille moyenne.
- **Adresses IP privées de classe C** : 192.168.0.1 à 192.168.0.254, pour la mise en place de petits réseaux privés.

Masques de sous-réseau

Un masque de sous-réseau contient des 1 aux emplacements des bits que l'on désire conserver, et des 0 pour ceux que l'on veut annuler. Une fois ce masque créé, il suffit de faire un ET logique entre la valeur que l'on désire masquer et le masque afin de garder intacte la partie que l'on désire et annuler le reste.

Ainsi, un **masque réseau** (*netmask*) se présente sous la forme de 4 octets séparés par des points (comme une adresse IP), il comprend (dans sa notation binaire) des zéros au niveau des bits de l'adresse IP que l'on veut annuler (et des 1 au niveau de ceux que l'on désire conserver).

❑ Intérêt d'un masque de sous-réseau

Le premier intérêt d'un **masque de sous-réseau** est de permettre d'identifier simplement le réseau associé à une adresse IP. En effet, le réseau est déterminé par un certain nombre d'octets de l'adresse IP (1 octet pour les adresses de classe A, 2 octets pour les adresses de classe B, et 3 octets pour la classe C). De plus, un réseau est noté en prenant le nombre d'octets qui le caractérise, puis en complétant avec des 0.

Exemple

Pour connaître l'adresse du réseau associé à l'adresse IP *34.56.123.12*, de classe A, il suffit d'appliquer un masque dont le premier octet ne comporte que des 1 (soit 255 en notation décimale), puis des 0 sur les octets suivants. Le masque est :

```
11111111.00000000.00000000.00000000
```

Le masque associé à l'adresse IP *34.208.123.12* est donc *255.0.0.0*.
La valeur binaire de 34.208.123.12 est :

```
00100010.11010000.01111011.00001100
```

Un ET logique entre l'adresse IP et le masque donne ainsi le résultat suivant :

```
00100010.11010000.01111011.00001100
        ET
11111111.00000000.00000000.00000000
        =
00100010.00000000.00000000.00000000
```

Soit *34.0.0.0*, qui est donc le réseau associé à l'adresse *34.208.123.12*

En généralisant, il est possible d'obtenir les masques correspondant à chaque classe d'adresse :

- Pour une adresse de **Classe A**, seul le premier octet doit être conservé. Le masque possède la forme suivante :

  ```
  11111111.00000000.00000000.00000000
  ```

  c'est-à-dire **255.0.0.0** en notation décimale.
- Pour une adresse de **Classe B**, les deux premiers octets doivent être conservés, ce qui donne le masque suivant :

  ```
  11111111.11111111.00000000.00000000
  ```

  c'est-à-dire **255.255.0.0** en notation décimale.
- Pour une adresse de **Classe C**, avec le même raisonnement, le masque possédera la forme suivante :

  ```
  11111111.11111111.11111111.00000000
  ```

  c'est-à-dire **255.255.255.0** en notation décimale.

Création de sous-réseaux

Reprenons l'exemple du réseau 34.0.0.0, et supposons que l'on ne désire que les deux premiers bits du deuxième octet permettant de désigner le réseau.

Le masque à appliquer sera alors :

```
11111111.11000000.00000000.00000000
```

C'est-à-dire 255.192.0.0.

Si on applique ce masque à l'adresse 34.208.123.12 on obtient :

```
34.192.0.0
```

En réalité, il y a quatre cas de figures possibles pour le résultat du masquage d'une adresse IP d'un ordinateur du réseau 34.0.0.0 :

- Soit les deux premiers bits du deuxième octet sont **00**, auquel cas le résultat du masquage est **34.0.0.0**.

- Soit les deux premiers bits du deuxième octet sont **01**, auquel cas le résultat du masquage est **34.64.0.0**.
- Soit les deux premiers bits du deuxième octet sont **10**, auquel cas le résultat du masquage est **34.128.0.0**.
- Soit les deux premiers bits du deuxième octet sont **11**, auquel cas le résultat du masquage est **34.192.0.0**.

Ce masquage divise donc un réseau de classe A (pouvant admettre 16 777 214 ordinateurs) en quatre sous-réseaux – d'où le nom de **masque de sous-réseau** – pouvant admettre 2^{22} ordinateurs, c'est-à-dire 4 194 304 ordinateurs.

Il peut être intéressant de remarquer que dans les deux cas, le nombre total d'ordinateurs est le même, soit 16 777 214 ordinateurs (4 × 4 194 304 – 2).

Le nombre de sous-réseaux dépend du nombre de bits attribués en plus au réseau (ici 2). Le nombre de sous-réseaux est donc :

Nombre de bits	Nombre de sous-réseaux
1	2
2	4
3	8
4	16
5	32
6	64
7	128
8[a]	256

a. Impossible pour une classe C.

Les limites d'IPv4

Le protocole IPv4 permet d'utiliser un peu plus de quatre milliards d'adresses différentes pour connecter les ordinateurs et les autres appareils reliés au réseau. Du temps des débuts d'Internet, quand les ordinateurs étaient rares, cela paraissait plus que suffisant. Il était pratiquement impossible d'imaginer qu'il y aurait un jour suffisamment de machines sur un unique réseau pour que l'on commence à manquer d'adresses disponibles.

Pourtant, une grande partie des quatre milliards d'adresses IP théoriquement disponibles sont inutilisables : elles sont réservées à des usages particuliers (par exemple, la multidiffusion) ou appartiennent déjà à des sous-réseaux importants. En effet, d'immenses plages de 16,8 millions d'adresses, les réseaux dits de classe A, ont été attribuées aux premières grandes organisations connectées à Internet, qui les ont conservées jusqu'à aujourd'hui sans parvenir à les épuiser.

Cette pénurie d'adresses a été compensée par différents mécanismes comme la Traduction d'adresse et de port réseau (NAPT) et l'attribution dynamique d'adresses, et en assouplissant le découpage en classes des adresses (CIDR) :

- **Traduction d'adresse réseau** (NAP, *Network Address Translation*). Un routeur a recours à NAP lorsqu'il met en correspondance les adresses IP internes non-uniques et souvent non routables d'un intranet avec un ensemble d'adresses externes uniques et routables. Ce mécanisme permet notamment de faire correspondre une seule adresse externe publique visible sur Internet à toutes les adresses d'un réseau privé, et pallie ainsi la carence d'adresses IPv4 d'Internet.
- L'**attribution dynamique d'adresse** est gérée par le FAI. Elle consiste à récupérer toute adresse inutilisée pour pouvoir l'affecter à un ordinateur actif. Cette méthode connaît aujourd'hui ses limites puisque qu'avec les systèmes XDSL une connexion peut être maintenue en permanence.
- **CIDR** (*Classless Inter-Domain Routing*) permet de diminuer la taille de la table de routage contenue dans les routeurs. Ce but est atteint en agrégeant plusieurs entrées de cette table en une seule. Elle impose également aux administrateurs de routeurs la règle de l'agrégation maximum des sous-réseaux qui sont routés ensemble avec la même politique, dans les annonces de routage envoyées en bordure de leur système autonome de routage (AS) avec un protocole de publication de routages tel que BGP4 ou GGP.

Ces solutions ont permis de prolonger la durée de vie du protocole IPv4, néanmoins, les jours de cette version sont comptés. Le réseau Internet était utilisé largement par les universités, les industries de pointe, et le gouvernement dès le milieu des années 1990, mais Internet intéresse de plus en plus les entreprises et les sociétés commerciales - il sera employé par un grand nombre

d'individus et de systèmes exprimant les uns et les autres des besoins différents. Par exemple, avec la convergence imminente de l'ordinateur, des réseaux, de l'audiovisuel et de l'industrie des loisirs, chaque poste de télévision deviendra avant longtemps un équipement d'accès à Internet permettant à des milliards d'individus de pratiquer la vidéo à la demande, le téléachat ou le commerce électronique.. Cette limitation conduit à la transition d'IPv4 vers IPv6, actuellement en cours de déploiement, qui devrait progressivement le remplacer.

Internet Protocol version 6 (IPv6)

Dans ces circonstances, le **protocole IPv6** (appelé également IPng pour IP *new generation*) doit offrir plus de flexibilité et d'efficacité, résoudre toute une variété de problèmes nouveaux et ne devrait jamais être en rupture d'adresses.

Les objectifs principaux de ce nouveau protocole sont de :

- Prendre en charge des milliards d'ordinateurs, en se libérant de l'inefficacité de l'espace des adresses IP actuelles ;
- Réduire la taille des tables de routage ;
- Simplifier le protocole, pour permettre aux routeurs de router les datagrammes plus rapidement ;
- Fournir une meilleure sécurité (authentification et confidentialité) que l'actuel protocole IP ;
- Accorder plus d'attention au type de service, et notamment aux services associés au trafic en temps réel ;
- Faciliter la diffusion multidestinataire en permettant de spécifier l'envergure ;
- Donner la possibilité à un ordinateur de se déplacer sans changer son adresse ;
- Permettre au protocole une évolution future ;
- Accorder à l'ancien et au nouveau protocole une coexistence pacifique.

Le **protocole IPv6** répond raisonnablement aux objectifs édictés. Il maintient les meilleures fonctions d'IPv4, en écarte ou minimise les mauvaises, et en ajoute de nouvelles quand elles sont nécessaires.

IPv6 n'est globalement pas compatible avec IPv4, mais il est en revanche compatible avec tous les autres protocoles Internet, dont TCP, UDP, ICMP, IGMP, OSPF, BGP et DNS. Toutefois, de légères

modifications sont parfois requises, notamment pour fonctionner avec de longues adresses.

Principales fonctions d'IPv6

La nouveauté majeure d'IPv6 est l'utilisation d'adresses plus longues qu'IPv4 : elles sont codées sur 16 octets et permettent de résoudre le problème du manque d'adresses disponibles : si IPv4 permettait d'adresser 2^{32}=4,29 x 10^9 adresses, IPv6 permet d'en adresser 2^{128}=3,4 x10^{38} adresses. En recouvrant la Terre entière (terre et eau confondues) d'ordinateurs, IPv6 pourrait allouer 7 x 10^{23} adresses IP par m².

L'amélioration majeure d'IPv6 est la simplification de l'en-tête des datagrammes (reportez-vous au Chapitre 4). L'en-tête du datagramme de base IPv6 ne comprend que 7 champs (contre 14 pour IPv4). Ce changement permet aux routeurs de traiter les datagrammes plus rapidement et améliore globalement leur débit.

La troisième amélioration consiste à offrir plus de souplesse aux options. Ce changement est essentiel avec le nouvel en-tête, car les champs obligatoires de l'ancienne version sont maintenant devenus optionnels.

De plus, la façon dont les options sont représentées est différente ; elle permet aux routeurs d'ignorer plus simplement les options qui ne leur sont pas destinées. Cette fonction accélère le temps de traitement des datagrammes.

IPv6 apporte par ailleurs une sécurité accrue : l'authentification et la confidentialité constituent les fonctions de sécurité majeures de ce protocole.

Finalement, une plus grande attention que par le passé a été accordée aux types de services. Bien que le champ Type de services du datagramme IPv4 ne soit que très rarement utilisé, la croissance attendue du trafic multimédia dans le futur nécessite de s'y intéresser.

La notation IPv6

Une nouvelle notation a été définie pour décrire les adresses IPv6 de 16 octets. Elle comprend 8 groupes de 4 chiffres hexadécimaux séparés avec le symbole deux-points. Par exemple :

8000:0000:0000:0000:0123:4567:89AB:CDEF

Puisque plusieurs adresses ont de nombreux zéros dans leur libellé, 3 optimisations ont été définies. Tout d'abord, les zéros initiaux d'un groupe peuvent être omis, comme par exemple 0123 qui peut s'écrire 123. Ensuite, un ou plusieurs groupes de 4 zéros consécutifs peuvent être remplacés par un double deux-points. C'est ainsi que l'adresse ci-dessus devient :

8000::::123:4567:89AB:CDEF

Enfin, les adresses IPv4 peuvent être écrites en utilisant la représentation de l'adresse en notation décimale pointée précédée d'un double deux-points, comme par exemple :

::192.31.254.46

Pour plus d'informations
Reportez-vous à la RFC 2460 qui explique de manière détaillée le protocole IPv6.

Technologies de transition pour l'accès à l'Internet IPv6

La manière la plus simple d'accéder à IPv6 est de choisir un FAI qui offre ce protocole lors de l'abonnement. Si votre fournisseur ne vous propose pas encore de connectivité IPv6, il est possible d'obtenir une connectivité IPv6 *via* un tunnel. Les paquets IPv6 sont alors encapsulés dans des paquets IPv4, qui peuvent traverser le réseau du FAI jusqu'à un serveur où ils sont décapsulés.

- **6to4**. Si vous disposez d'une adresse IPv4 publique (de préférence fixe), un tunnel automatique « 6to4 anycast » est souvent le plus simple à mettre en place. Certains routeurs domestiques peuvent être dotés d'un firmware supportant l'IPv6 *via* 6to4 (par exemple DD-WRT ou OpenWRT).
- **Teredo**. Sur un réseau d'adresses IPv4 privées, relié à Internet *via* un routeur assurant une traduction d'adresses, il est souvent possible d'obtenir en dernier recours (selon les termes de la RFC 4380) une connectivité IPv6 *via* un tunnel automatique Teredo. Teredo est mis en œuvre dans la pile IP duale des systèmes Windows (depuis Windows Vista et Server 2008), la mise en œuvre pour Linux et les systèmes BSD se nommant miredo.

- **Tunnel broker**. Au lieu d'un tunnel automatique (qui trouve automatiquement un serveur chargé de décapsuler les paquets), il est possible de créer un tunnel vers un serveur fixe, choisi aussi proche que possible. Selon les cas, cela peut conduire à de meilleures performances. Plusieurs services de ce type sont disponibles, nécessitant en général une inscription, parmi lesquels SixXS, Freenet6, Hurricane Electric et Renater.

Système de noms de domaine

Chaque ordinateur directement connecté à Internet possède au moins une adresse IP propre. Cependant, les utilisateurs ne veulent pas travailler avec des adresses numériques du genre *194.153.205.26* mais avec des noms de machine ou des adresses plus explicites (appelées **adresses FQDN**) du type :

http://www.commentcamarche.net/

Ainsi, il est possible d'associer des noms en langage courant aux adresses numériques grâce à un système appelé **DNS** (*Domain Name System*).

On appelle **résolution de noms de domaine** (ou *résolution d'adresses*) la corrélation entre les adresses IP et le nom de domaine associé.

Noms d'hôtes

Aux origines de TCP/IP, les réseaux étaient très peu étendus (le nombre d'ordinateurs connectés à un même réseau était faible), les administrateurs réseau créaient des fichiers appelés « tables de conversion manuelle ». Ces tables de conversion manuelle étaient des fichiers séquentiels, généralement nommés **hosts** ou **hosts.txt**, associant sur chaque ligne l'adresse IP de la machine et le nom littéral associé, appelé **nom d'hôte**.

Introduction au DNS

Le système précédent de tables de conversion nécessitait néanmoins la mise à jour manuelle des tables de tous les ordinateurs en

cas d'ajout ou de modification d'un nom de machine. Ainsi, avec l'explosion de la taille des réseaux, et de leur interconnexion, il a fallu mettre en place un système de gestion des noms hiérarchisé et plus facilement administrable. Le système nommé **DNS** (*Domain Name System* ou *système de noms de domaine*) a été mis au point en novembre 1983 par Paul Mockapetris (RFC 882 et RFC 883), puis révisé en 1987 dans les RFC 1034 et 1035[1]. Le DNS a fait l'objet depuis de nombreuses RFC.

Ce système propose :

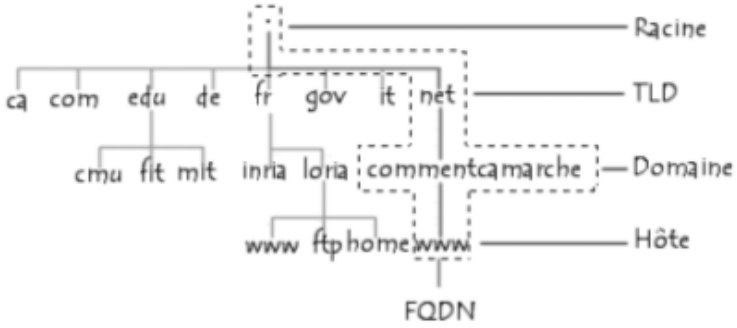
- un **espace de noms** hiérarchique permettant de garantir l'unicité d'un nom dans une structure arborescente, à la manière des systèmes de fichiers d'Unix ;
- un système de **serveurs distribués** permettant de rendre disponible l'espace de noms ;
- un système de **clients** permettant de « résoudre » les noms de domaines, c'est-à-dire interroger les serveurs afin de connaître l'adresse IP correspondant à un nom.

Espace de noms

La structuration du système DNS s'appuie sur une structure arborescente dans laquelle sont définis des domaines de niveau supérieurs (appelés **TLD**, *Top Level Domains*), rattachés à un nœud racine représenté par un point.

On appelle **nom de domaine** chaque nœud de l'arbre. Chaque nœud possède une étiquette (*label*) d'une longueur maximale de 63 caractères. L'ensemble des noms de domaine constitue ainsi un arbre inversé où chaque nœud est séparé du suivant par un point « . ».

1. *www.ietf.org/rfc/rfc882.txt* : Domain Names - Concepts and Facilities
www.ietf.org/rfc/rfc883.txt : Domain Names - Implementation and Specification
www.ietf.org/rfc/rfc1034.txt : Domain Names - Concepts and Facilities
www.ietf.org/rfc/rfc1035.txt : Domain Names - Implementation and Specification



L'extrémité d'une branche est appelée **hôte**, et correspond à une machine ou une entité du réseau. Le nom d'hôte qui lui est attribué doit être unique dans le domaine considéré, ou le cas échéant dans le sous-domaine. À titre d'exemple le serveur web d'un domaine porte ainsi généralement le nom *www*.

Le mot **domaine** correspond formellement au suffixe d'un nom de domaine, c'est-à-dire l'ensemble des étiquettes de nœuds d'une arborescence, à l'exception de l'hôte.

Le nom absolu correspondant à l'ensemble des étiquettes des nœuds d'une arborescence séparées par des points, et terminé par un point final, est appelé **adresse FQDN** (*Fully Qualified Domain Name* soit *nom de domaine totalement qualifié*). La profondeur maximale de l'arborescence est de 127 niveaux et la longueur maximale d'un nom FQDN est de 255 caractères. L'adresse FQDN permet de repérer de façon unique une machine sur le réseau des réseaux.

- Ainsi *www.commentcamarche.net.* représente une adresse FQDN.

Serveurs de noms

Les machines appelées **serveurs de noms de domaine** permettent d'établir la correspondance entre le nom de domaine et l'adresse IP des machines d'un réseau.

Chaque domaine possède un serveur de noms de domaines, appelé **serveur de noms primaire** (*primary domain name server*),

ainsi qu'un **serveur de noms secondaire** (*secondary domaine name server*) permettant de prendre le relais du serveur de noms primaire en cas d'indisponibilité.

Chaque serveur de noms est déclaré dans à un serveur de noms de domaine de niveau immédiatement supérieur, ce qui permet implicitement une délégation d'autorité sur les domaines. Le système de nom est une architecture distribuée, où chaque entité est responsable de la gestion de son nom de domaine. Il n'existe donc pas d'organisme ayant à charge la gestion de l'ensemble des noms de domaines.

Les serveurs correspondant aux domaines de plus haut niveau (TLD) sont appelés **serveurs de noms racine**. Il en existe treize, répartis sur la planète, possédant les noms **a.root-servers.net** à **m.root-servers.net**.

Un serveur de noms définit une zone, c'est-à-dire un ensemble de domaines sur lequel le serveur a autorité. Le système de noms de domaine est transparent pour l'utilisateur, néanmoins il ne faut pas oublier les points suivants :

- Chaque ordinateur doit être configuré avec l'adresse d'une machine capable de transformer n'importe quel nom en une adresse IP. Cette machine est appelée DNS (*Domain Name Server*). Pas de panique : lorsque vous vous connectez à Internet, le fournisseur d'accès va automatiquement modifier vos paramètres réseau pour vous mettre à disposition ces serveurs de noms.
- L'adresse IP d'un second DNS (*secondary Domain Name Server*) doit également être définie : le serveur de noms secondaire peut relayer le serveur de noms primaire en cas de dysfonctionnement.

À savoir

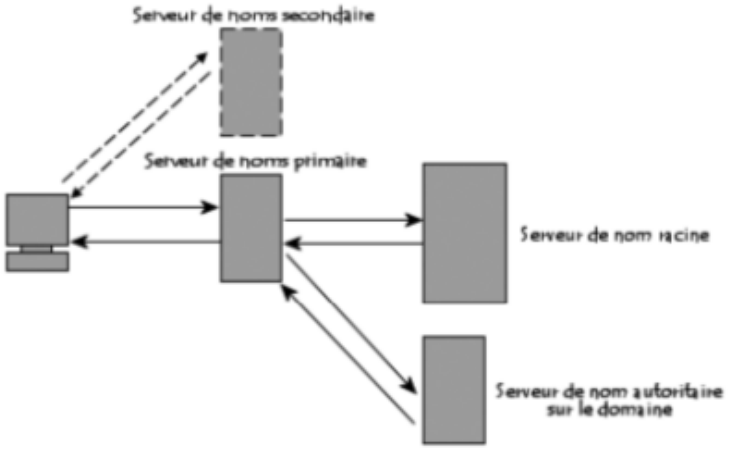
Le serveur le plus répandu s'appelle **BIND** (*Berkeley Internet Name Domain*). Il s'agit d'un logiciel libre disponible sous les systèmes Unix, développé initialement par l'université de Berkeley en Californie et désormais maintenu par l'*ISC* (*Internet Systems Consortium*).

Résolution de noms de domaine

Le mécanisme consistant à trouver l'adresse IP correspondant au nom d'un hôte est appelé **résolution de nom de domaine**. L'application permettant de réaliser cette opération (généralement intégrée au système d'exploitation) est appelée **résolveur** (*resolver*).

Lorsqu'une application souhaite se connecter à un hôte connu par son nom de domaine (par exemple www.commentcamarche.net), celle-ci va interroger un serveur de noms défini dans sa configuration réseau. Chaque machine connectée au réseau possède en effet dans sa configuration les adresses IP de deux serveurs de noms de son fournisseur d'accès :

- Une requête est ainsi envoyée au premier serveur de noms (serveur de nom primaire). Si celui-ci possède l'enregistrement dans son cache, il l'envoie à l'application, dans le cas contraire il interroge un **serveur racine** (dans notre cas un serveur racine correspondant au TLD « .net »).
- Le serveur de noms racine renvoie une liste de serveurs de noms faisant autorité sur le domaine (dans le cas présent les adresses IP des serveurs de noms primaire et secondaire de *commentcamarche.net*).
- Le serveur de noms primaire faisant autorité sur le domaine va alors être interrogé et retourner l'enregistrement correspondant à l'hôte sur le domaine (dans notre cas *www*).



Types d'enregistrements

Un DNS est une base de données répartie contenant des enregistrements, appelés **RR** (*Resource Records*), concernant les noms de domaines. En raison du système de cache permettant au système DNS d'être réparti, les enregistrements de chaque domaine possèdent une durée de vie, appelée **TTL** (*Time To Live*, traduisez *espérance de vie*), permettant aux serveurs intermédiaires de connaître la date de péremption des informations et ainsi savoir s'il est nécessaire ou non de la revérifier.

D'une manière générale, un enregistrement DNS comporte les informations suivantes :

- **Nom de domaine** : le nom de domaine doit être un nom FQDN, c'est-à-dire être terminé par un point. Si le point est omis, le nom de domaine est relatif, c'est-à-dire que le nom de domaine principal suffixera le domaine saisi.
- **Type** : une valeur sur 16 bits spécifiant le type de ressource décrit par l'enregistrement. Le type de ressource peut être un des suivants :

  • **A** : il s'agit du type de base établissant la correspondance entre un nom canonique et une adresse IP. Par ailleurs il peut exister plusieurs enregistrements A, correspondant aux différentes machines du réseau (serveurs).

  • **CNAME** (*Canonical Name*) : il permet de faire correspondre un alias au nom canonique. Il est particulièrement utile pour fournir des noms alternatifs correspondant aux différents services d'une même machine.

  • **HINFO** : il s'agit d'un champ uniquement descriptif permettant de décrire notamment le matériel (CPU) et le système d'exploitation (OS) d'un hôte. Il est généralement conseillé de ne pas le renseigner afin de ne pas fournir d'éléments d'informations pouvant se révéler utiles pour des pirates informatiques.

  • **MX** (*Mail eXchange*) : il correspond au serveur de gestion du courrier. Lorsqu'un utilisateur envoie un courrier électronique à une adresse (utilisateur@domaine), le serveur de courrier sortant interroge le serveur de nom ayant autorité sur le domaine afin d'obtenir l'enregistrement MX. Il peut exister plusieurs MX par domaine, afin de fournir une redondance en cas de panne du serveur de messagerie principal.

Ainsi l'enregistrement MX permet de définir une priorité avec une valeur pouvant aller de 0 à 65 535 :

```
www.commentcamarche.net.
IN MX 10 mail.commentcamarche.net.
```

• **NS** : il correspond au serveur de noms ayant autorité sur le domaine.

• **PTR** : c'est un pointeur vers une autre partie de l'espace de noms de domaine.

• **SOA** (*Start Of Authority*) : le champ SOA permet de décrire le serveur de noms ayant autorité sur la zone, ainsi que l'adresse électronique du contact technique (dont le caractère « @ » est remplacé par un point).

- **Classe** : la classe peut être soit **IN** (correspondant aux protocoles d'Internet), soit **CH** (pour le système chaotique).
- **RDATA** : il s'agit des données correspondant à l'enregistrement. Voici les informations attendues selon le type d'enregistrement :
  • A : une adresse IP sur 32 bits ;
  • CNAME : un nom de domaine ;
  • MX : une valeur de priorité sur 16 bits, suivi d'un nom d'hôte ;
  • NS : un nom d'hôte ;
  • PTR : un nom de domaine ;
  • SOA : plusieurs champs.

Exemple

Nom de domaine (FQDN)	TTL	Type	Classe	RData
www.commentcamarche.net	3600	A	IN	163.5.255.85

Domaines de haut niveau

Il existe deux catégories de **TLD** (*Top Level Domain*, soit *domaines de plus haut niveau*) : gTLD et les ccTLD

❑ gTLD

Les domaines dits « génériques », appelés **gTLD** (*generic TLD*). Les gTLD sont des noms de domaines génériques de niveau supérieur proposant une classification selon le secteur d'activité. Ainsi chaque gTLD possède ses propres règles d'accès :

gTLD historiques		Nouveaux gTLD introduits en novembre 2000 par l'ICANN	
.arpa	Machines issues du réseau originel (infrastructures de gestion du réseau). Le gTLD arpa sert ainsi à la résolution inverse des machines du réseau, permettant de trouver le nom correspondant à une adresse IP.	**.aero**	industrie aéronautique
.com	Initialement entreprises à vocation commerciale, devenu le « TLD par défaut ». L'acquisition de domaines possédant cette extension est possible, y compris par des particuliers.	**.biz**	(*business*) entreprises commerciales
.edu	organismes éducatifs	**.museum**	musées
.gov	organismes gouvernementaux ;	**.name**	noms de personnes ou noms de personnages imaginaires
.int	organisations internationales	**.info**	organisations ayant trait à l'information
.mil	organismes militaires ;	**.coop**	coopératives

gTLD historiques		Nouveaux gTLD introduits en novembre 2000 par l'ICANN	
.net	Initialement organismes ayant trait aux réseaux. Devenu depuis quelques années un TLD courant. L'acquisition de domaines possédant cette extension est possible, y compris par des particuliers.	**.pro**	professions libérales
.org	entreprises à but non lucratif.	•	

❑ ccTLD

Les **ccTLD** (*country code TLD*), domaines nationaux, correspondent aux différents pays et leurs noms correspondent aux abréviations des noms de pays définies par la norme ISO 3166, par exemple .fr pour la France, .es pour l'Espagne ou .br pour le Brésil.

Notion de port

De nombreux programmes TCP/IP peuvent être exécutés simultanément sur Internet (vous pouvez par exemple ouvrir plusieurs navigateurs simultanément ou bien naviguer sur des pages HTML tout en téléchargeant un fichier par FTP). Chacun de ces programmes travaille avec un protocole, toutefois l'ordinateur doit pouvoir distinguer les différentes sources de données.

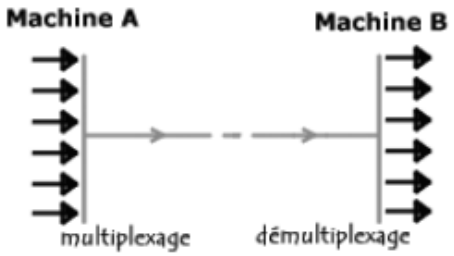
Ainsi, pour faciliter ce processus, chacune de ces applications se voit attribuer une adresse unique sur la machine, codée sur 16 bits : **un port** (la combinaison *adresse IP + port* est alors une adresse unique au monde, elle est appelée **socket**).

L'adresse IP sert donc à identifier de façon unique un ordinateur sur le réseau tandis que le numéro de port indique l'application à laquelle les données sont destinées. De cette manière, lorsque l'ordinateur reçoit des informations destinées à un port, les

données sont envoyées vers l'application correspondante. S'il s'agit d'une requête à destination de l'application, l'application est appelée **application serveur**. S'il s'agit d'une réponse, on parle alors d'**application cliente**.

Fonction de multiplexage

Le processus qui consiste à pouvoir faire transiter sur une connexion des informations provenant de diverses applications s'appelle le multiplexage. De la même façon le fait d'arriver à mettre en parallèle (donc répartir sur les diverses applications) le flux de données s'appelle le **démultiplexage**.



Ces opérations sont réalisées grâce au port, c'est-à-dire un numéro associé à un type d'application, qui, combiné à une adresse IP, permet de déterminer de façon unique une application qui tourne sur une machine donnée.

Assignations par défaut

Il existe des milliers de ports (ceux-ci sont codés sur 16 bits, il y a donc 65 536 possibilités), c'est pourquoi une assignation standard a été mise au point par l'IANA (*Internet Assigned Numbers Authority*)[1], afin d'aider à la configuration des réseaux :

- Les ports 0 à 1023 sont les **ports reconnus** ou réservés (*Well Known Ports*). Ils sont, de manière générale, réservés aux processus système (démons) ou aux programmes exécu-

1.Numéros de port assignés par l'IANA : *http://www.iana.org/assignments/port-numbers*

tés par des utilisateurs privilégiés. Un administrateur réseau peut néanmoins lier des services aux ports de son choix.

- Les ports 1024 à 49151 sont appelés **ports enregistrés** (*Registered Ports*).
- Les ports 49152 à 65535 sont les **ports dynamiques et/ou privés** (*Dynamic and/or Private Ports*).

Voici certains des ports reconnus les plus couramment utilisés :

Port	Service ou application
21	FTP
25	SMTP
53	DNS
63	Whois
80	HTTP
110	POP3
119	NNTP

Ainsi, un serveur (un ordinateur que l'on contacte et qui propose des services tels que FTP, Telnet...) possède des numéros de ports fixes auxquels l'administrateur réseau a associé des services. Ainsi, les ports d'un serveur sont généralement compris entre 0 et 1023 (fourchette de valeurs associées à des services connus).

Du côté du client, le port est choisi aléatoirement parmi ceux disponibles par le système d'exploitation. Ainsi, les ports du client ne seront jamais compris entre 0 et 1023 car cet intervalle de valeurs représente les ports connus.

TCP/IP

TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) est une suite de protocoles. Cette appellation provient des noms des deux protocoles majeurs de la suite, c'est-à-dire TCP et IP.

TCP/IP représente d'une certaine façon l'ensemble des règles de communication sur Internet et se fonde sur la notion d'adressage IP, c'est-à-dire le fait de fournir une adresse IP à chaque machine du réseau afin de pouvoir acheminer des paquets de données. La suite de protocoles TCP/IP est conçue pour répondre à un certain nombre de critères parmi lesquels :

- le fractionnement des messages en paquets ;
- l'utilisation d'un système d'adresses ;
- l'acheminement des données sur le réseau (routage) ;
- le contrôle des erreurs de transmission de données.

Les principaux protocoles faisant partie de la suite TCP/IP sont : TCP, UDP, IP, ARP, RARP FTS, FDDI, PPP, Ethernet, Anneau à jeton (Token Ring)...

À savoir

La connaissance de l'ensemble des protocoles TCP/IP n'est pas essentielle pour un simple utilisateur, au même titre qu'un téléspectateur n'a pas besoin de connaître le fonctionnement de son téléviseur, ni des réseaux audiovisuels. Toutefois, sa connaissance est nécessaire pour les personnes désirant administrer ou maintenir un réseau TCP/IP.

Différence entre standard et implémentation

TCP/IP regroupe globalement deux notions :

- la notion de **standard** : TCP/IP représente la façon dont les communications s'effectuent sur un réseau.
- la notion d'**implémentation** : l'appellation TCP/IP est souvent étendue aux logiciels basés sur le protocole TCP/IP. TCP/IP est en fait un modèle sur lequel les développeurs d'applications réseau s'appuient. Les applications sont ainsi des implémentations du protocole TCP/IP.

Un modèle en couches

Afin de pouvoir appliquer le modèle TCP/IP à n'importe quelle machine, c'est-à-dire indépendamment du système d'exploitation, le système de protocoles TCP/IP a été décomposé en plusieurs modules effectuant chacun une tâche précise. Ces tâches sont réalisées les unes après les autres dans un ordre précis ; on obtient donc un système stratifié que l'on appelle **modèle en couches**.

Le terme de couche est utilisé pour évoquer le fait que les données qui transitent sur le réseau traversent plusieurs **niveaux de protocoles**. Ainsi, les **données** (paquets d'informations) qui circulent sur le réseau sont traitées successivement par chaque couche, qui vient rajouter un élément d'information (**en-tête**) puis sont transmises à la couche suivante.

L'intérêt d'un modèle en couches est de séparer le problème en différentes parties (les couches) selon leur niveau d'abstraction. Ainsi, chaque couche du modèle communique avec une couche adjacente, utilise les services des couches inférieures et fournit des services à la couche de niveau supérieur.

Modèle OSI

Le **modèle OSI** (*Open Systems Interconnection* ou interconnexion de systèmes ouverts) a été mis en place par l'ISO (*International Standard Organisation*, l'organisation internationale des standards, *Organisation Internationale de Normalisation*, *http://www.iso.org*) afin de normaliser les communications entre les ordinateurs d'un réseau. En effet, aux origines des réseaux chaque constructeur avait un système propre (système propriétaire) et de nombreux réseaux incompatibles coexistaient. Ce modèle a permis de standardiser la communication entre les machines afin que les différents constructeurs puissent mettre au point des produits (logiciels ou matériels) compatibles (pour peu qu'ils respectent scrupuleusement le modèle OSI).

Le modèle OSI est un modèle qui comporte 7 couches, tandis que le modèle TCP/IP n'en comporte que 4. En réalité le **modèle TCP/IP** a été développé à peu près au même moment que le modèle OSI, c'est la raison pour laquelle il s'en inspire sans mais n'est pas tout à fait conforme à ses spécifications.

Modèle OSI	
Niveau	**Couche**
Niveau 7	Couche Application
Niveau 6	Couche Présentation
Niveau 5	Couche Session
Niveau 4	Couche Transport
Niveau 3	Couche Réseau
Niveau 2	Couche Liaison de données
Niveau 1	Couche Physique

Les rôles des différentes couches sont les suivants :

- La **couche Physique** définit la façon dont les données sont physiquement converties en signaux numériques sur le média de communication (impulsions électriques, modulation de la lumière, etc.).

- La **couche Liaison de données** définit l'interface avec la carte réseau et le partage du média de transmission.
- La **couche Réseau** permet de gérer l'adressage et le routage des données, c'est-à-dire leur acheminement *via* le réseau.
- La **couche Transport** est chargée du transport des données, de leur découpage en paquets et de la gestion des éventuelles erreurs de transmission.
- La **couche Session** définit l'ouverture et la destruction des sessions de communication entre les machines du réseau.
- La **couche Présentation** définit le format des données manipulées par le niveau applicatif (leur représentation, éventuellement leur compression et leur chiffrement) indépendamment du système.
- La **couche Application** assure l'interface avec les applications. Il s'agit donc du niveau le plus proche des utilisateurs, géré directement par les logiciels.

Modèle TCP/IP

Le **modèle TCP/IP** reprend l'approche modulaire du modèle OSI (utilisation de modules ou de couches) mais ne contient, lui, que quatre couches. Ces couches ont des tâches beaucoup plus diverses étant donné qu'elles correspondent à plusieurs couches du modèle OSI.

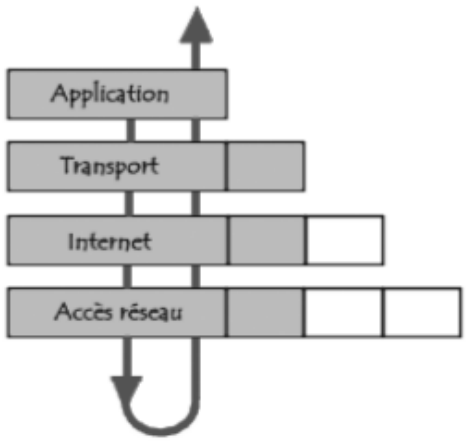
Niveau	Modèle TCP/IP	Modèle OSI	Protocoles TCP/IP
Niveau 4	Couche Application	Couche Application	Applications réseau (Telnet, SMTP, FTP...).
		Couche Présentation	
		Couche Session	
Niveau 3	Couche Transport (TCP)	Couche Transport	TCP ou UDP
Niveau 2	Couche Internet (IP)	Couche Réseau	IP, ARP, RARP
Niveau 1	Couche Accès réseau	Couche Liaison données	FTS, FDDI, PPP, Ethernet, Anneau à jeton (Token Ring)
		Couche Physique	

Les rôles des différentes couches sont les suivants :

- La **couche Accès réseau** spécifie la forme sous laquelle les données doivent être acheminées quel que soit le type de réseau utilisé.
- La **couche Internet** est chargée de fournir le paquet de données (datagramme).
- La **couche Transport** assure l'acheminement des données, ainsi que les mécanismes permettant de connaître l'état de la transmission.
- La **couche Application** englobe les applications standards du réseau.

Encapsulation des données

Lors d'une transmission, les données traversent chacune des couches au niveau de la machine émettrice : à chaque couche, une information est ajoutée au paquet de données, il s'agit d'un **en-tête**, un ensemble d'informations qui garantit la transmission. Au niveau de la machine réceptrice, lors du passage dans chaque couche, l'en-tête est lu, puis supprimé. Ainsi, à la réception, le message est dans son état originel...



À chaque niveau, le **paquet de données** change d'aspect, car on lui ajoute un en-tête, ainsi les appellations changent suivant les couches :

- Le paquet de données est appelé **message** au niveau de la couche Application.
- Le message est ensuite encapsulé sous forme de **segment** dans la couche Transport.
- Le segment une fois encapsulé dans la couche Internet prend le nom de **datagramme.**
- Enfin, on parle de **trame** au niveau de la couche Accès réseau

Couche Accès réseau

La **couche Accès réseau** est la première couche de la pile TCP/IP, elle offre les capacités à accéder à un réseau physique quel qu'il soit, c'est-à-dire les moyens à mettre en œuvre afin de transmettre des données *via* un réseau.

Cette couche contient toutes les spécifications concernant la transmission de données sur un réseau physique, qu'il s'agisse de réseau local (Token Ring, Ethernet, FDDI), de connexion à une ligne téléphonique ou n'importe quel type de liaison à un réseau. Elle prend en charge les notions suivantes :

- acheminement des données sur la liaison ;
- coordination de la transmission de données (synchronisation) ;
- format des données ;
- conversion des signaux (analogique/numérique) ;
- contrôle des erreurs à l'arrivée…

Heureusement toutes ces spécifications sont transparentes aux yeux de l'utilisateur, car l'ensemble de ces tâches est en fait réalisé par le système d'exploitation, et par les drivers du matériel permettant la connexion au réseau (par exemple le driver de la carte réseau).

Couche Internet

La **couche Internet** est la couche la plus importante, car c'est elle qui définit les datagrammes (paquets de données), et qui gère les notions d'adressage IP.

Elle permet l'acheminement des datagrammes vers des machines distantes ainsi que de la gestion de leur fragmentation et de leur assemblage à réception.

La couche Internet contient cinq protocoles : IP, ARP, ICMP, RARP et IGMP. IP, ARP et ICMP sont les protocoles les plus importants.

Couche Transport

Les protocoles des couches précédentes permettent d'envoyer des informations d'une machine à une autre. La **couche Transport** permet à des applications tournant sur des machines distantes de communiquer.

Le problème consiste à identifier ces applications. En effet, suivant la machine et son système d'exploitation, l'application pourra être un programme, une tâche, un processus... De plus, la dénomination de l'application peut varier d'un système à un autre, c'est la raison pour laquelle un système de numéro a été mis en place afin de pouvoir associer un type d'application à un type de données, ces identifiants sont appelés **ports**.

La couche Transport contient deux protocoles permettant à deux applications d'échanger des données indépendamment du type de réseau emprunté (c'est-à-dire indépendamment des couches inférieures...), il s'agit des protocoles suivants :

- TCP, un protocole orienté connexion qui assure le contrôle des erreurs.
- UDP, un protocole non orienté connexion dont le contrôle d'erreur est archaïque.

Couche Application

La **couche Application** est la couche située au sommet des couches de protocoles TCP/IP. Elle contient les applications réseaux permettant de communiquer grâce aux couches inférieures.

Les logiciels de cette couche communiquent donc grâce à un des deux protocoles de la couche inférieure (la couche Transport) c'est-à-dire TCP ou UDP.

Les applications de cette couche sont de différents types, mais la plupart sont des **services réseau**, c'est-à-dire des applications fournies à l'utilisateur pour assurer l'interface avec le système d'exploitation. On peut les classer selon les services qu'ils rendent en :

- services de gestion (transfert) de fichier et d'impression,
- services de connexion au réseau,
- services de connexion à distance,
- utilitaires Internet divers.

Protocole TCP

TCP (*Transmission Control Protocol* ou *protocole de contrôle de transmission*) est l'un des principaux protocoles de la couche Transport du modèle TCP/IP. Il permet, au niveau des applications, de gérer les données en provenance (ou à destination) de la couche inférieure du modèle (c'est-à-dire le protocole IP). Lorsque les données sont fournies au protocole IP, celui-ci les encapsule dans des **datagrammes IP**. TCP est un protocole orienté connexion, c'est-à-dire qu'il permet à deux machines qui communiquent de contrôler l'état de la transmission.

Les caractéristiques principales du protocole TCP sont les suivantes :

- TCP permet de remettre en ordre les datagrammes en provenance du protocole IP.
- TCP permet de vérifier le flot de données afin d'éviter une saturation du réseau.
- TCP permet de formater les données en segments de longueur variable afin de les « remettre » au protocole IP.
- TCP permet de multiplexer les données, c'est-à-dire de faire circuler simultanément des informations provenant de sources (applications par exemple) distinctes sur une même ligne.

- TCP permet enfin l'initialisation et la fin d'une communication de manière courtoise.

Objectifs du protocole TCP

Grâce au protocole TCP, les applications peuvent communiquer de façon sûre (grâce au système d'accusés de réception du protocole TCP), indépendamment des couches inférieures. Cela signifie que les routeurs (qui travaillent dans la couche Internet) ont pour seul rôle l'acheminement des données sous forme de datagrammes, sans se préoccuper du contrôle des données, car celui-ci est réalisé par la couche Transport (plus particulièrement par le protocole TCP).

Lors d'une communication à travers le protocole TCP, les deux machines doivent établir une connexion. La machine émettrice (celle qui demande la connexion) est appelée **client**, tandis que la machine réceptrice est appelée **serveur**. On dit qu'on est alors dans un environnement **client/serveur**. Les machines dans un tel environnement communiquent en **mode connecté**, c'est-à-dire que la communication se fait dans les deux sens.

Pour permettre le bon déroulement de la communication et de tous les contrôles qui l'accompagnent, les données sont **encapsulées**, c'est-à-dire qu'on ajoute aux paquets de données un en-tête qui va permettre de synchroniser les transmissions et d'assurer leur réception.

Une autre particularité de TCP est de pouvoir réguler le débit des données grâce à sa capacité à émettre des messages de taille variable, ces messages sont appelés **segments**.

TCP permet aussi d'effectuer le multiplexage/démultiplexage.

Format des données sous TCP

Un segment TCP est constitué de différents champs :

- **Port Source** (16 bits) : port relatif à l'application en cours sur la machine source.
- **Port Destination** (16 bits) : port relatif à l'application en cours sur la machine de destination.
- **Numéro d'ordre** (32 bits) :

• lorsque le drapeau SYN est à 0, le numéro d'ordre est celui du premier mot du segment en cours ;

• lorsque SYN est à 1, le numéro d'ordre est égal au numéro d'ordre initial utilisé pour synchroniser les numéros de séquence (ISN).

- **Numéro d'accusé de réception** (32 bits) : le numéro d'accusé de réception également appelé numéro d'acquittement correspond au numéro (d'ordre) du prochain segment attendu, et non le numéro du dernier segment reçu.
- **Décalage des données** (4 bits) : il permet de repérer le début des données dans le paquet. Le décalage est ici essentiel car le champ d'options est de taille variable.
- **Réservé** (6 bits) : champ inutilisé actuellement mais prévu pour l'avenir.
- **Drapeaux (flags)** (6x1 bit) : les drapeaux représentent des informations supplémentaires :

  • **URG** : si ce drapeau est à 1 le paquet doit être traité de façon urgente.

  • **ACK** : si ce drapeau est à 1 le paquet est un accusé de réception.

  • **PSH** (PUSH) : si ce drapeau est à 1, le paquet fonctionne suivant la méthode PUSH.

  • **RST** : si ce drapeau est à 1, la connexion est réinitialisée.

  • **SYN** : le Flag TCP SYN indique une demande d'établissement de connexion.

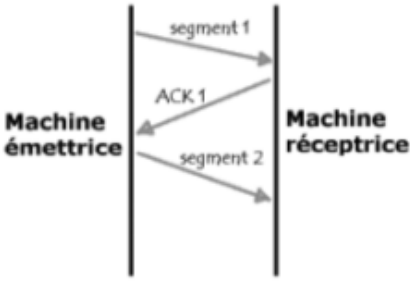
  • **FIN** : si ce drapeau est à 1 la connexion s'interrompt.
- **Fenêtre** (16 bits) : champ permettant de connaître le nombre d'octets que le récepteur souhaite recevoir sans accusé de réception
- **Somme de contrôle** (*checksum* ou CRC) : la somme de contrôle est réalisée en faisant la somme des champs de données de l'en-tête, afin de pouvoir vérifier l'intégrité de l'entête.
- **Pointeur d'urgence** (16 bits) : indique le numéro d'ordre à partir duquel l'information devient urgente.
- **Options** (taille variable) : des options diverses.
- **Remplissage** : on remplit l'espace restant après les options avec des zéros pour avoir une longueur multiple de 32 bits.

Fiabilité des transferts

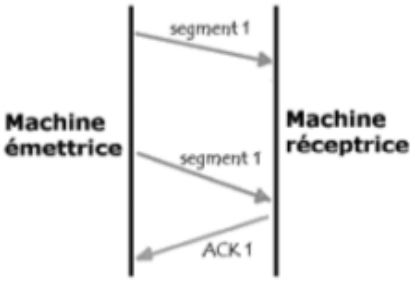
Le protocole TCP permet d'assurer le transfert des données de façon fiable, bien qu'il utilise le protocole IP, qui n'intègre aucun contrôle de livraison de datagrammes.

En réalité, le protocole TCP possède un **système d'accusé de réception** permettant au client et au serveur de s'assurer de la bonne réception mutuelle des données.

Lors de l'émission d'un segment, un **numéro d'ordre** (appelé aussi *numéro de séquence*) est associé. À réception d'un segment de données, la machine réceptrice va retourner un segment de données dont le drapeau ACK est à 1 (afin de signaler qu'il s'agit d'un accusé de réception) accompagné d'un numéro d'accusé de réception égal au numéro d'ordre précédent.



De plus, grâce à une minuterie déclenchée dès émission d'un segment au niveau de la machine émettrice, le segment est réexpédié dès que le temps imparti est écoulé, car dans ce cas la machine émettrice considère que le segment est perdu…



Toutefois, si le segment n'est pas perdu et qu'il arrive tout de même à destination, la machine réceptrice saura grâce au numéro d'ordre qu'il s'agit d'un doublon et ne conservera que le dernier segment arrivé à destination...

Établissement d'une connexion

Étant donné que ce processus de communication, qui se fait grâce à une émission de données et à un accusé de réception, est basé sur un numéro d'ordre, il faut que les machines émettrices et réceptrices (client et serveur) connaissent le numéro d'ordre initial de l'autre machine.

L'**établissement de la connexion** entre deux applications se fait souvent selon le schéma suivant :

- les ports TCP doivent être ouverts,
- l'application sur le serveur est passive, c'est-à-dire que l'application est à l'écoute, en attente d'une connexion,
- l'application sur le client fait une requête de connexion sur le serveur dont l'application est en **ouverture passive**. L'application du client est dite **en ouverture active**.

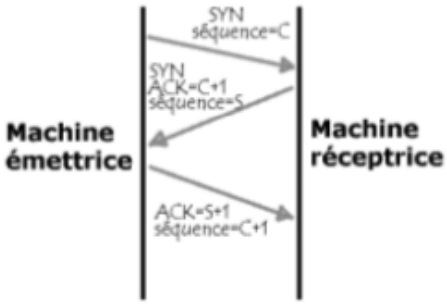
Les deux machines doivent donc synchroniser leurs séquences grâce à un mécanisme communément appelé **three ways handshake** (poignée de main en trois temps), que l'on retrouve aussi lors de la clôture de session.

Ce dialogue permet d'initier la communication, il se déroule en trois temps, comme sa dénomination l'indique :

- Dans un premier temps la machine émettrice (le client) transmet un segment dont le drapeau SYN est à 1 (pour signaler qu'il s'agit d'un segment de synchronisation), avec un numéro d'ordre N, que l'on appelle **numéro d'ordre initial du client**.
- Dans un second temps la machine réceptrice (le serveur) reçoit le segment initial provenant du client, puis lui envoie un accusé de réception, c'est-à-dire un segment dont le drapeau ACK est à 1 et le drapeau SYN est à 1 (car il s'agit là encore d'une synchronisation). Ce segment contient le numéro d'ordre de cette machine (du serveur) qui est le numéro d'ordre initial du client. Le champ le plus important de ce

segment est le champ accusé de réception qui contient le numéro d'ordre initial du client, incrémenté de 1

- Enfin, le client transmet au serveur un accusé de réception, c'est-à-dire un segment dont le drapeau ACK est à 1, dont le drapeau SYN est à zéro (il ne s'agit plus d'un segment de synchronisation). Son numéro d'ordre est incrémenté et le numéro d'accusé de réception représente le numéro d'ordre initial du serveur incrémenté de 1



Suite à cette séquence comportant trois échanges les deux machines sont synchronisées et la communication peut commencer !

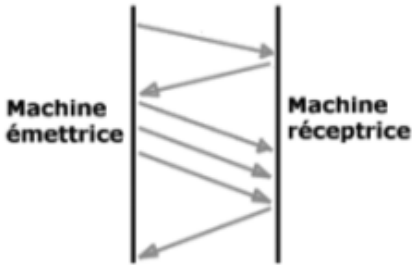
Attention !

Il existe une technique de piratage, appelée **spoofing IP**, permettant de corrompre cette relation d'approbation à des fins malicieuses !

Méthode de la fenêtre glissante

Dans de nombreux cas, il est possible de limiter le nombre d'accusés de réception, afin de désengorger le réseau, en fixant un nombre de séquences au bout duquel un accusé de réception est nécessaire. Ce nombre est en fait stocké dans le **champ Fenêtre** de l'en-tête TCP/IP.

On appelle effectivement cette méthode **méthode de la fenêtre glissante** car on définit en quelque sorte une fourchette de séquences n'ayant pas besoin d'accusé de réception, et celle-ci se déplace au fur et à mesure que les accusés de réception sont reçus.



La taille de cette fenêtre n'est pas fixe. En effet, le serveur peut inclure dans ses accusés de réception en stockant dans le champ Fenêtre la taille de la fenêtre qui lui semble la plus adaptée. Ainsi, lorsque l'accusé de réception indique une demande d'augmentation de la fenêtre, le client va déplacer le bord droit de la fenêtre.

Par contre, dans le cas d'une diminution, le client ne va pas déplacer le bord droit de la fenêtre vers la gauche mais attendre que le bord gauche avance (avec l'arrivée des accusés de réception).

Fin d'une connexion

Le client peut demander à mettre **fin à une connexion** au même titre que le serveur. La fin de la connexion se fait de la manière suivante :

- Une des machines envoie un segment avec le drapeau FIN à 1, et l'application se met en état d'attente de fin, c'est-à-dire qu'elle finit de recevoir le segment en cours et ignore les suivants.
- Après réception de ce segment, l'autre machine envoie un accusé de réception avec le drapeau FIN à 1 et continue d'expédier les segments en cours.
- Suite à cela la machine informe l'application qu'un segment FIN a été reçu, puis envoie un segment FIN à l'autre machine, ce qui clôture la connexion…

Pour en savoir plus

Reportez-vous à la RFC 793 expliquant de manière détaillée le protocole TCP :
– RFC 793 traduite en français :
http://abcdrfc.free.fr/rfc-vf/rfc793.html
– RFC 793 originale :
http://www.ietf.org/rfc/rfc793.txt

Protocole IP

Le **protocole IP** fait partie de la couche Internet de la suite de protocoles TCP/IP. C'est un des protocoles les plus importants d'Internet car il permet l'élaboration et le transport des datagrammes IP (les paquets de données), sans toutefois en assurer la « livraison ». En réalité, le protocole IP traite les datagrammes IP indépendamment les uns des autres en définissant leur représentation, leur routage et leur expédition.

Les données circulent sur Internet sous forme de **datagrammes** (on parle aussi de paquets). Les datagrammes sont des données encapsulées, c'est-à-dire des données auxquelles on a ajouté des

en-têtes correspondant à des informations sur leur transport (telles que l'adresse IP de destination).

Les données contenues dans les datagrammes sont analysées (et éventuellement modifiées) par les routeurs permettant leur transit.

Les choses sont toutefois différentes selon qu'il s'agit d'un datagramme IPv4 ou IPv6 : nous allons les examiner tour à tour.

Datagramme IPv4

Voici ce à quoi ressemble un datagramme IPv4 :

<table>
<tr><td colspan="2"><-</td><td colspan="2">32 bits</td><td colspan="2">-></td></tr>
<tr><td>Version
(4 bits)</td><td>Longueur
d'en-tête
(4 bits)</td><td>Type de
service
(8 bits)</td><td colspan="3">Longueur totale
(16 bits)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Identification
(16 bits)</td><td>Drapeau
(3 bits)</td><td colspan="2">Décalage fragment
(13 bits)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Durée de vie
(8 bits)</td><td colspan="2">Protocole
(8 bits)</td><td colspan="2">Somme de contrôle en-tête
(16 bits)</td></tr>
<tr><td colspan="6">Adresse IP source (32 bits)</td></tr>
<tr><td colspan="6">Adresse IP destination (32 bits)</td></tr>
<tr><td colspan="6">Données</td></tr>
</table>

Voici la signification des différents champs :

- **Version** (4 bits) : il s'agit de la version du protocole IP que l'on utilise (ici en principe 4 IPv4) afin de vérifier la validité du datagramme. Elle est codée sur 4 bits.
- **Longueur d'en-tête** (IHL, *Internet Header Length*, 4 bits) : il s'agit du nombre de mots de 32 bits constituant l'en-tête (la valeur minimale est 5). Ce champ est codé sur 4 bits.
- **Type de service** (8 bits) : il indique la façon selon laquelle le datagramme doit être traité.
- **Longueur totale** (16 bits) : il indique la taille totale du datagramme en octets. La taille de ce champ étant de 2 octets, la taille totale du datagramme ne peut dépasser 65 536 octets. Utilisé conjointement avec la taille de l'en-

tête, ce champ permet de déterminer où sont situées les données.

- **Identification, drapeaux** (*flags*) et **déplacement de fragment** sont des champs qui permettent la fragmentation des datagrammes (voir section suivante).
- **Durée de vie** (TTL, *Time To Live*, 8 bits) : ce champ indique le nombre maximal de routeurs à travers lesquels le datagramme peut passer. Ainsi ce champ est décrémenté à chaque passage dans un routeur, lorsque celui-ci atteint la valeur critique de 0, le routeur détruit le datagramme. Cela évite l'encombrement du réseau par les datagrammes perdus.
- **Protocole** (8 bits) : ce champ, en notation décimale, permet de savoir de quel protocole est issu le datagramme (1 pour ICMP, 2 pour IGMP, 6 pour TCP et 17 pour UDP).
- **Somme de contrôle de l'en-tête** (*header checksum*, 16 bits) : ce champ contient une valeur codée sur 16 bits qui permet de contrôler l'intégrité de l'en-tête afin de déterminer si celui-ci n'a pas été altéré pendant la transmission. La somme de contrôle est le complément à un de tous les mots de 16 bits de l'en-tête (champ Somme de contrôle exclu). Celle-ci est en fait telle que lorsque l'on fait la somme des champs de l'en-tête (somme de contrôle incluse), on obtient un nombre avec tous les bits positionnés à 1.
- **Adresse IP source** (32 bits) : ce champ représente l'adresse IP de la machine émettrice, il permet au destinataire de répondre.
- **Adresse IP destination** (32 bits) : adresse IP du destinataire du message.

Fragmentation des datagrammes IP

La taille maximale d'un datagramme maximale est de 65 536 octets. Toutefois cette valeur n'est jamais atteinte car les réseaux n'ont pas une capacité suffisante pour envoyer de si gros paquets. De plus, les réseaux sur Internet utilisent différentes technologies, si bien que la taille maximale d'un datagramme varie suivant le type de réseau.

La taille maximale d'une trame est appelée **MTU** (*Maximum Transfer Unit*), elle entraînera la fragmentation du datagramme si celui-ci a une taille plus importante que le MTU du réseau (1 000 octets pour Arpanet, 1500 pour Ethernet et 4 470 pour FDDI).

La **fragmentation d'un datagramme** se fait au niveau des **routeurs**, c'est-à-dire lors de la transition d'un réseau dont le MTU est important à un réseau dont le MTU est plus faible. Si le datagramme est trop grand pour passer sur le réseau, le routeur va le fragmenter, c'est-à-dire le découper en fragments de tailles inférieures au MTU du réseau et de telle façon que la taille du fragment soit un multiple de 8 octets.

Le routeur va ensuite envoyer ces fragments de manière indépendante et les réencapsuler (ajouter un en-tête à chaque fragment) de façon à tenir compte de leur taille. De plus, le routeur ajoute des informations afin que la machine de destination puisse réassembler les fragments dans le bon ordre. Rien ne dit toutefois que les fragments arriveront dans le bon ordre, étant donné qu'ils sont acheminés indépendamment les uns des autres.

Pour tenir compte de la fragmentation, chaque datagramme possède plusieurs champs permettant leur réassemblage :

- **champ Déplacement de fragment** (13 bits) : champ permettant de connaître la position du début du fragment dans le datagramme initial. L'unité de mesure de ce champ est de 8 octets (le premier fragment ayant une valeur de zéro).
- **champ Identification** (16 bits) : numéro attribué à chaque fragment afin de permettre leur réassemblage.
- **champ Longueur totale** (16 bits) : il est recalculé pour chaque fragment.
- **champ Drapeau** (3 bits) : il est composé de 3 bits :
  - Le premier n'est pas utilisé.
  - Le second, **DF** (*Don't Fragment*), indique si le datagramme peut être fragmenté ou non. Si jamais un datagramme a ce bit positionné à 1 et que le routeur ne peut pas l'acheminer sans le fragmenter, alors le datagramme est rejeté avec un message d'erreur
  - Le dernier, **MF** (*More Fragments* ou français fragments à suivre), indique si le datagramme est un fragment de donnée

(1). Si l'indicateur est à zéro, cela indique que le fragment est le dernier (donc que le routeur devrait être en possession de tous les fragments précédents) ou bien que le datagramme n'a pas fait l'objet d'une fragmentation

❑ Routage IP

Le **routage IP** fait partie intégrante de la couche IP de la suite TCP/IP. Le routage consiste à assurer l'acheminement d'un datagramme IP à travers un réseau en empruntant le chemin le plus court. Ce rôle est assuré par des machines appelées **routeurs**, c'est-à-dire des machines reliées (reliant) au moins deux réseaux.

Pour en savoir plus

Reportez-vous à la RFC 791 expliquant de manière détaillée le protocole IP :
– RFC 791 traduite en français :
http://abcdrfc.free.fr/rfc-vf/rfc791.html
– RFC originale :
http://www.ietf.org/rfc/rfc791.txt

Datagramme IPV6

Voici ce à quoi ressemble un datagramme IPv6 :

<table>
<tr><td colspan="4"><——————— 32 bits ———————></td></tr>
<tr><td>Version
(4 bits)</td><td>Classe de trafic
(8 bits)</td><td colspan="2">Identificateur de flux</td></tr>
<tr><td colspan="2">Longueur des données
(16 bits)</td><td>En-tête suivant</td><td>Nombre de sauts
(8 bits)</td></tr>
<tr><td colspan="4">Adresse IP source</td></tr>
<tr><td colspan="4">Adresse IP destination</td></tr>
<tr><td colspan="4">Données</td></tr>
</table>

Voici la signification des différents champs :

- Le champ **Version** est toujours égal à 4 bits pour IPv6. Pendant la période de transition de IPv4 vers IPv6, les routeurs devront examiner ce champ pour savoir quel type de datagramme ils routent.
- Le champ **Classe de trafic** (codé sur 8 bits) est utilisé pour distinguer les sources qui doivent bénéficier du contrôle de flux des autres. Des priorités de 0 à 7 sont affectées aux sources capables de ralentir leur débit en cas de congestion. Les valeurs 8 à 15 sont assignées au trafic temps réel (les données audio et vidéo en font partie) dont le débit est constant.

Cette distinction des flux permet aux routeurs de mieux réagir en cas de congestion. Dans chaque groupe prioritaire, le niveau de priorité le plus faible correspond aux datagrammes les moins importants.

- Le champ **Identificateur de flux** contient un numéro unique choisi par la source qui a pour but de faciliter le travail des routeurs et de permettre la mise en œuvre des fonctions de qualité de services comme RSVP (*Resource reSerVation setup Protocol*). Cet indicateur peut être considéré comme une marque pour un contexte dans le routeur. Le routeur peut alors faire un traitement particulier : choix d'une route, traitement en "temps-réel" de l'information... Le champ identificateur de flux peut être rempli avec une valeur aléatoire qui servira à référencer le contexte. La source gardera cette valeur pour tous les paquets qu'elle émettra pour cette application et cette destination. Le traitement est optimisé puisque le routeur n'a plus à consulter que cinq champs pour déterminer l'appartenance d'un paquet. De plus, si une extension de confidentialité est utilisée, les informations concernant les numéros de port sont masquées aux routeurs intermédiaires.
- Le champ **Longueur des données utiles** (en anglais *payload*) sur deux octets, ne contient que la taille des données utiles, sans prendre en compte la longueur de l'en-tête. Pour des paquets dont la taille des données serait supérieure à 65536 ce champ vaut 0 et l'option jumbogramme de l'extension de « proche en proche » est utilisée.

- Le champ **En-tête suivant** a une fonction similaire au champ protocole du paquet IPv4 : Il identifie tout simplement le prochain en-tête (dans le même datagramme IPv6). Il peut s'agir d'un protocole (de niveau supérieur ICMP, UDP, TCP, ...) ou d'une extension.
- Le champ **Nombre de sauts** remplace le champ IPv4 « TTL » (*Time-to-Live*, durée de vie). Sa valeur (sur 8 bits) est décrémentée à chaque nœud traversé. Si cette valeur atteint 0 alors que le paquet IPv6 traverse un routeur, il sera rejeté avec l'émission d'un message ICMPv6 d'erreur. Il est utilisé pour empêcher les datagrammes de circuler indéfiniment. Il joue le même rôle que le champ TTL IPv4, à savoir qu'il contient une valeur représentant le nombre de sauts ou de pas (*hops*) qui est décrémenté à chaque passage dans un routeur. En théorie, dans IPv4, il y a une notion de temps en seconde mais aucun routeur ne l'utilisant comme tel, le nom a changé pour refléter l'usage actuel.
- Viennent ensuite les champs **Adresse source** et **Adresse de destination**.

Après de nombreuses discussions, il fut décidé que les adresses de longueur fixe égales à 16 octets constituaient le meilleur compromis.

Les premiers bits de l'adresse - le préfixe - définissent le type de l'adresse. Les adresses commençant par 8 zéros sont réservées, notamment pour les adresses IPv4. Deux variantes sont supportées ; elles se distinguent suivant les 16 bits suivant (soit 16 bits à 0 ou à 1).

Découpage géographique grâce aux préfixes

L'utilisation de préfixes séparés pour les adresses affectées à un fournisseur et les adresses affectées à une zone géographique constitue un compromis entre deux différentes visions du futur réseau Internet. Chacun de ces fournisseurs dispose d'une fraction réservée de l'espace d'adressage (1/8 de cet espace). Les 5 premiers bits qui suivent le préfixe 010 sont utilisés pour indiquer dans quel « registre » se trouve le fournisseur d'accès. Actuellement, trois registres sont opérationnels, pour l'Amérique du nord, l'Europe et l'Asie. Jusqu'à 29 nouveaux registres pourront être ajoutés ultérieurement.

Chaque registre est libre de diviser les 15 octets restants comme il l'entend. Une autre possibilité est d'utiliser un octet pour indiquer la nationalité du fournisseur et de laisser toute liberté aux octets suivant pour définir une structure d'adresses spécifique.

Le modèle géographique est le même que celui du réseau Internet actuel, dans lequel les fournisseurs d'accès ne jouent pas un grand rôle. Dans ce cadre, IPv6 peut gérer 2 types d'adresses.

Les adresses de liens et de sites locaux n'ont qu'une spécification locale. Elles peuvent être réutilisées par d'autres organisations sans qu'il y ait de conflit. Elles ne peuvent pas être propagées hors des limites des organisations, ce qui les rend bien adaptées à celles qui utilisent des gardes-barrière pour protéger leur réseau privé du réseau Internet.

- Adresse broadcast

Les adresses de diffusion multidestinataire disposent d'un champ **Drapeau** (4 bits) et d'un champ **Envergure** (4 bits) à la suite du préfixe, puis d'un champ **Identificateur de groupe** (112 bits). L'un des bits du drapeau distingue les groupes permanents des groupes transitoires.

Le champ **Envergure** permet une diffusion limitée sur une zone.

- Adresse anycast

En plus de supporter l'adressage point à point classique (*unicast*) et l'adressage de diffusion multidestinataire (*multicast*) IPv6 supporte un nouveau type d'adressage de diffusion au premier vu (*anycast*).

Cette technique est similaire à la diffusion multidestinataire dans le sens ou l'adresse de destination est un groupe d'adresses, mais plutôt que d'essayer de livrer le datagramme à tous les membres du groupe, il essaie de le livrer à un seul membre du groupe, celui le plus proche ou le plus à même de le recevoir.

Le champ **Protocole** est exclu parce que le champ **En-tête suivant** du dernier en-tête IP d'un datagramme précise le type de protocole (par exemple, UDP ou TCP).

Tous les champs relatifs à la fragmentation ont été retirés, parce qu'IPv6 a une approche différente de la fragmentation.

Pour commencer, tous les ordinateurs et routeurs conformes à IPv6 doivent prendre en charge les datagrammes de 576 octets. Cette règle confère à la fragmentation un rôle secondaire. De plus, quand un ordinateur envoie un trop grand datagramme IPv6, contrairement à ce qu'il se passe avec la fragmentation, le routeur qui ne peut le transmettre retourne un message d'erreur à la source. Ce message demande à l'ordinateur source d'interrompre l'envoi de nouveaux datagrammes vers cette destination. Avoir un ordinateur qui transmette immédiatement des datagrammes à la bonne dimension est bien plus efficace que de voir les routeurs les fragmenter à la volée.

Enfin, le champ **Total de contrôle** n'existe plus car son calcul est trop réducteur de performance. En effet, la fiabilité des réseaux actuels, combinée au fait que les couches liaisons de données et transport effectuent leur propre contrôle, fait que le gain en qualité apporté par un contrôle supplémentaire ne vaut pas le prix à payer pour le calculer.

❑ En-tête d'extension

Cet en-tête fournit une information complémentaire de façon efficace. Chacun d'eux est optionnel. Si plus d'un en-tête est présent, ils doivent apparaître immédiatement après l'en-tête fixe, de préférence dans l'ordre de la liste.

Certains en-têtes ont un format fixe ; d'autres contiennent un nombre variable de champs variables. Pour cela, chaque item est codé sous forme d'un triplet (Type, Longueur, Valeur). Le **Type** est un champ d'un octet qui précise la nature de l'option. Les différents types ont été choisis de façon à ce que les 2 premiers bits disent quoi faire aux routeurs qui ne savent pas exécuter l'option.

Les choix sont :

- sauter l'option
- détruire le datagramme
- retourner un message ICMP à la source
- détruire le datagramme sans retourner de message ICMP s'il s'agit d'un datagramme multidestinataire (afin d'éviter un nombre trop important de rapport ICMP en retour).

La **Longueur** est un champ d'un octet. Elle indique la taille du champ **Valeur** (de 0 255) qui contient une information quelconque adressée au destinataire.

En-tête pas après pas

L'en-tête **Pas-après-pas** contient des informations destinées à tous les routeurs sur le chemin.

En-tête routage

L'en-tête **Routage** donne la liste d'un ou de plusieurs routeurs qui doivent être visités sur le trajet vers la destination. Deux formes de routage sont mises en œuvre de façon combinée : le routage strict (la route intégrale est définie) et le routage lâche (seuls les routeurs obligatoires sont définis).

Les 4 premiers champs de l'en-tête d'extension Routage contiennent 4 entiers d'un octet :

- le type d'en-tête suivant
- le type de routage (couramment 0)
- le nombre d'adresses présentes dans l'en-tête (1 à 24)
- une adresse donnant la prochaine adresse à visiter.

Ce dernier champ commence à la valeur 0 et est incrémenté à chaque adresse visitée.

En-tête fragmentation

L'en-tête **Fragmentation** traite de la fragmentation de manière similaire à IPv4. L'en-tête contient l'identifiant de datagramme, le numéro de fragment et un bit précisant si d'autres fragments suivent. Dans IPv6, contrairement à IPv4, seul l'ordinateur source peut fragmenter le datagramme. Les routeurs sur le trajet ne le peuvent pas. Cela permet à l'ordinateur source de fragmenter le datagramme en morceaux et d'utiliser l'en-tête Fragmentation pour transmettre les morceaux.

Authentification

L'en-tête **Authentification** fournit un mécanisme permettant au destinataire d'un datagramme de s'assurer de l'identité de la source. Dans IPv4, aucune garantie semblable n'est offerte.

L'utilisation du chiffrement des données du datagramme (sa charge utile) renforce sa sécurité ; seul le vrai destinataire peut les lire.

Quand un émetteur et un récepteur veulent communiquer en toute sécurité, ils doivent tout d'abord se mettre d'accord sur une ou plusieurs clés secrètes connues d'eux seuls. Il est assigné un nombre clé de 32 bits à chacune des 2 clés.

Les nombres clés sont globaux ; par exemple, si A utilise la clé 4 pour communiquer avec B, A ne peut pas utiliser cette clé pour communiquer avec C. D'autres paramètres sont associés à chaque nombre clé, tel que sa durée de vie, etc...

Pour envoyer un message authentifié, l'ordinateur source construit premièrement un datagramme contenant tous les en-têtes IP et la charge utile, puis il remplace les champs qui changent peu par des 0 (par exemple : le champ Nombre max. de sauts). Le datagramme est complété avec des 0 pour devenir un multiple de 16 octets. De façon similaire, la clé secrète utilisée est aussi complétée avec des 0 pour être un multiple de 16 octets. Puis, un total de contrôle chiffré est calculé après concaténation de la clé secrète complétée, du datagramme complété et, à nouveau, de la clé secrète complétée.

L'en-tête **Authentification** contient 3 parties. La première compte 4 octets précisant le numéro d'en-tête suivant, la longueur de l'en-tête d'authentification, et 16 bits à zéro. La seconde définit le nombre clé sur 32 bits. La troisième contient le total de contrôle chiffré (avec l'algorithme MD5 ou un autre).

Le destinataire utilise le nombre clé pour trouver la clé secrète. La valeur complétée de la clé secrète est ajoutée avant et après la charge utile elle-même complétée, les champs variables de l'en-tête sont vidés de leurs zéros, puis le total de contrôle chiffré est calculé. Si le résultat du calcul est égal au total de contrôle chiffré contenu dans l'en-tête Authentification, le destinataire est sûr que le datagramme vient bien de la source avec laquelle il partage la clé secrète. Il est également sûr que le datagramme n'a pas été falsifié à son insu en arrière plan.

Pour les datagrammes qui doivent être envoyés secrètement, il faut utiliser l'en-tête d'extension Charge utile chiffrée. Cet en-tête commence par un nombre clé de 32 bits, suivi par la charge utile chiffrée.

Option de destination

L'en-tête **Option de destination** est utilisé pour des champs qui n'ont pas besoin d'être interprétés et n'est compris que par l'ordinateur destinataire. Dans la version originale d'IPv6, la seule option de destination qui a été définie est l'option nulle. Elle permet de compléter cet en-tête par des 0 pour obtenir un multiple de 8 octets. Cet en-tête ne sera pas utilisé dans un premier temps. Il a été défini pour s'assurer que les nouveaux logiciels de routage pourront le prendre en compte, au cas où quelqu'un envisagerait un jour une option de destination.

Plus d'informations

Pour plus d'informations sur le protocole IPv6, le mieux est de se reporter à la RFC 2460 expliquant de manière détaillée le protocole. Vous trouverez la version originale à l'adresse ftp://ftp.rfc-editor.org/in-notes/rfc2460.txt et la version française à l'adresse : http://abcdrfc.free.fr/rfc-vf/rfc2460.html

Les autres protocoles du modèle TCP/IP

Protocole ARP

Le **protocole ARP** a un rôle phare parmi les protocoles de la couche Internet de la suite TCP/IP, car il permet de connaître l'adresse physique d'une carte réseau correspondant à une adresse IP, c'est pour cela qu'il s'appelle **protocole de résolution d'adresse** (ARP, *Address Resolution Protocol*).

Chaque machine connectée au réseau possède un numéro d'identification de 48 bits, nommée adresse MAC (*Media Access Control*). Ce numéro est un numéro unique qui est fixé dès la fabrication de la carte en usine. Toutefois la communication sur Internet ne se fait pas directement à partir de ce numéro (car il faudrait modifier l'adressage des ordinateurs à chaque fois que l'on change une carte réseau) mais à partir d'une adresse dite logique attribuée par un organisme : l'**adresse IP**.

Ainsi, pour faire correspondre les adresses physiques aux adresses logiques, le protocole ARP interroge les machines du réseau pour connaître leur adresse physique, puis crée une table de correspondance entre les adresses logiques et les adresses physiques dans une mémoire cache.

Lorsqu'une machine doit communiquer avec une autre, elle consulte la table de correspondance. Si jamais l'adresse demandée ne se trouve pas dans la table, le protocole ARP émet une requête

sur le réseau. Les machines du réseau vont comparer cette adresse logique à la leur. Si l'une d'entre elles s'identifie à cette adresse, la machine va répondre à ARP qui va stocker le couple d'adresses dans la table de correspondance et la communication va alors pouvoir avoir lieu…

Protocole RARP

Le **protocole RARP** (*Reverse Address Resolution Protocol*) est beaucoup moins utilisé, il signifie **protocole ARP inversé**, il s'agit donc d'une sorte d'annuaire inversé des adresses logiques et physiques.

En réalité le protocole RARP est essentiellement utilisé pour les stations de travail n'ayant pas de disque dur et souhaitant connaître leur adresse physique…

Le protocole RARP permet à une station de connaître son adresse IP à partir d'une table de correspondance entre adresse MAC (adresse physique) et adresse IP hébergée par une passerelle (*gateway*) située sur le même réseau local (LAN).

Pour cela, il faut que l'administrateur paramètre la passerelle avec la table de correspondance des adresses MAC/IP. En effet, à la différence de ARP ce protocole est statique. Il faut donc que la table de correspondance soit toujours à jour pour permettre la connexion de nouvelles cartes réseau.

RARP souffre de nombreuses limitations. Il nécessite beaucoup de temps d'administration pour maintenir des tables importantes dans les serveurs. Cela est d'autant plus vrai que le réseau est grand. Cela pose des problèmes de ressource humaine, nécessaire au maintien des tables de correspondance, et de capacité des matériels hébergeant la partie serveur du protocole RARP. En effet, RARP permet à plusieurs serveurs de répondre à des requêtes, bien qu'il ne prévoit pas de mécanismes garantissant que tous les serveurs soient capables de répondre, ni même qu'ils répondent de manière identique. Ainsi, dans ce type d'architecture on ne peut pas avoir confiance en un serveur RARP pour savoir si à une adresse MAC peut être liée à une adresse IP parce que d'autres serveurs ARP peuvent avoir une réponse différente. Une autre limitation de RARP est qu'un serveur ne peut servir qu'un LAN.

Pour pallier les deux premiers problèmes d'administration, le protocole RARP peut être remplacé par le protocole DRARP, qui en est une version dynamique. Une autre approche, consiste à utiliser un serveur DHCP, qui lui, permet une résolution dynamique des adresses. De plus, DHCP est compatible avec le protocole BOOTP. Comme ce dernier il est routable ce qui permet de servir plusieurs LAN. Il ne marche qu'avec IP.

Pour en savoir plus

La principale documentation sur les protocoles ARP et RARP est constituée par les RFC 826 et 903 :

– RFC 826, ARP (An Ethernet Address Resolution Protocol) : http://www.ietf.org/rfc/rfc826.txt

– RFC 903, RARP (Reverse Address Resolution Protocol) : http://www.ietf.org/rfc/rfc903.txt

Protocole ICMP

Le **protocole ICMP** (*Internet Control Message Protocol*) est un protocole qui permet de gérer les informations relatives aux erreurs des machines connectées. Étant donné le peu de contrôles que le protocole IP réalise, il permet non pas de corriger ces erreurs mais de faire part de ces erreurs aux protocoles des couches voisines. Ainsi, le protocole ICMP est utilisé par tous les routeurs, qui l'utilisent pour signaler une erreur (appelée *delivery problem*).

Les messages d'erreur ICMP sont transportés sur le réseau sous forme de datagramme, comme n'importe quelle donnée. Ainsi, les messages d'erreur peuvent eux-mêmes être sujet d'erreurs.

Toutefois en cas d'erreur sur un datagramme transportant un message ICMP, aucun message d'erreur n'est délivré pour éviter un effet « boule de neige » en cas d'incident sur le réseau.

Voici à quoi ressemble un message ICMP encapsulé dans un datagramme IP :

En-tête	Message ICMP			
	Type (8 bits)	Code (8 bits)	Checksum (16 bits)	Message (taille variable)

Signification des messages ICMP

Type	Code	Message	Signification du message
8	0	Demande d'ECHO	Ce message est utilisé lorsqu'on utilise la commande *PING*. Cette commande, permettant de tester le réseau, envoie un datagramme à un destinataire et lui demande de le restituer.
3	0	Destinataire inaccessible	Le réseau n'est pas accessible.
3	1	Destinataire inaccessible	La machine n'est pas accessible.
3	2	Destinataire inaccessible	Le protocole n'est pas accessible.
3	3	Destinataire inaccessible	Le port n'est pas accessible.
3	4	Destinataire inaccessible	Fragmentation nécessaire mais impossible à cause du drapeau (*flag*) DF.
3	5	Destinataire inaccessible	Le routage a échoué.
3	6	Destinataire inaccessible	Réseau inconnu.
3	7	Destinataire inaccessible	Machine inconnue.
3	8	Destinataire inaccessible	Machine non connectée au réseau (inutilisé).
3	9	Destinataire inaccessible	Communication avec le réseau interdite.
3	10	Destinataire inaccessible	Communication avec la machine interdite.

Type	Code	Message	Signification du message
3	11	Destinataire inaccessible	Réseau inaccessible pour ce service.
3	12	Destinataire inaccessible	Machine inaccessible pour ce service.
3	11	Destinataire inaccessible	Communication interdite (filtrage).
4	0	Source Quench	Le volume de données envoyé est trop important, le routeur envoie ce message pour prévenir qu'il sature afin de demander de réduire la vitesse de transmission.
5	0	Redirection pour un hôte	Le routeur remarque que la route d'un ordinateur n'est pas optimale et envoie l'adresse du routeur à rajouter dans la table de routage de l'ordinateur.
5	1	Redirection pour un hôte et un service donné	Le routeur remarque que la route d'un ordinateur n'est pas optimale pour un service donné et envoie l'adresse du routeur à rajouter dans la table de routage de l'ordinateur.
5	2	Redirection pour un réseau	Le routeur remarque que la route d'un réseau entier n'est pas optimale et envoie l'adresse du routeur à rajouter dans la table de routage des ordinateurs du réseau
5	3	Redirection pour un réseau et un service donné	Le routeur remarque que la route d'un réseau entier n'est pas optimale pour un service donné et envoie l'adresse du routeur à rajouter dans la table de routage des ordinateurs du réseau.
11	0	Temps dépassé	Ce message est envoyé lorsque le temps de vie d'un datagramme est dépassé. L'en-tête du datagramme est renvoyé pour que l'utilisateur sache quel datagramme a été détruit.
11	1	Temps de réassemblage de fragment dépassé	Ce message est envoyé lorsque le temps de réassemblage des fragments d'un datagramme est dépassé.
12	0	En-tête erroné	Ce message est envoyé lorsqu'un champ d'un en-tête est erroné. La position de l'erreur est retournée.

Type	Code	Message	Signification du message
13	0	Timestamp request	Une machine demande à une autre son heure et sa date système (universelle).
14	0	Timestamp reply	La machine réceptrice donne son heure et sa date système afin que la machine émettrice puisse déterminer le temps de transfert des données.
15	0	Demande d'adresse réseau	Ce message permet de demander au réseau une adresse IP.
16	0	Réponse d'adresse réseau	Ce message répond au message précédent.
17	0	Demande de masque de sous-réseau	Ce message permet de demander au réseau un masque de sous-réseau.
18	0	Réponse de masque de sous-réseau	Ce message répond au message précédent.
17	0	Timestamp reply	La machine réceptrice donne son heure et sa date système afin que la machine émettrice puisse déterminer le temps de transfert des données.

Pour en savoir plus

Reportez-vous à la RFC 792 expliquant de manière détaillée le protocole ICMP :
– RFC 792 traduite en français :
http://abcdrfc.free.fr/rfc-vf/rfc792.html
– RFC 792 originale :
http://www.ietf.org/rfc/rfc792.txt

Protocole UDP

Le **protocole UDP** (*User Datagram Protocol*) est un protocole non orienté connexion de la couche Transport du modèle TCP/IP.

Ce protocole est très simple étant donné qu'il ne fournit pas de contrôle d'erreurs (il n'est pas orienté connexion…).

L'en-tête du segment UDP est donc très simple :

Port Source (16 bits)	Port Destination (16 bits)
Longueur (16 bits)	Somme de contrôle (16 bits)
Données (longueur variable)	

Signification des différents champs :

- **Port Source** : il s'agit du numéro de port correspondant à l'application émettrice du segment UDP. Ce champ représente une adresse de réponse pour le destinataire. Ainsi, ce champ est optionnel, cela signifie que si l'on ne précise pas le port source, les 16 bits de ce champ seront mis à zéro, auquel cas le destinataire ne pourra pas répondre cela n'est pas forcément nécessaire, notamment pour des messages unidirectionnels.
- **Port Destination** : ce champ contient le port correspondant à l'application de la machine destinataire à laquelle on s'adresse.
- **Longueur** : ce champ précise la longueur totale du segment, en-tête compris, or l'en-tête a une longueur de 4×16 bits (soient 8×8 bits) donc le champ longueur est nécessairement supérieur ou égal à 8 octets.
- **Somme de contrôle** : il s'agit d'une somme de contrôle réalisée de façon à pouvoir contrôler l'intégrité du segment.

Protocoles de routage

Les **routeurs** sont les dispositifs permettant de « choisir » le chemin que les datagrammes vont emprunter pour arriver à destination. Il s'agit de machines ayant plusieurs cartes réseau dont chacune est reliée à un réseau différent. Ainsi, dans la configuration la plus simple, le routeur n'a qu'à « regarder » sur quel réseau

se trouve un ordinateur pour lui faire parvenir les datagrammes en provenance de l'expéditeur.

Toutefois, sur Internet le schéma est beaucoup plus compliqué pour les raisons suivantes :

- Le nombre de réseau auxquels un routeur est connecté est généralement important.
- Les réseaux auxquels le routeur est relié peuvent être reliés à d'autres réseaux que le routeur ne connaît pas directement.

Ainsi, les routeurs fonctionnent grâce à des **tables de routage** et des **protocoles de routage**, selon le modèle suivant :

- Le routeur reçoit une trame provenant d'une machine connectée à un des réseaux auquel il est rattaché.
- Les datagrammes sont transmis à la couche IP.
- Le routeur regarde l'en-tête du datagramme :
  - Si l'adresse IP de destination appartient à l'un des réseaux auxquels une des interfaces du routeur est rattachée, l'information doit être envoyée à la couche 4 après que l'en-tête IP ait été désencapsulé (enlevé).
  - Si l'adresse IP de destination fait partie d'un réseau différent, le routeur consulte sa table de routage, une table qui définit le chemin à emprunter pour une adresse donnée.
- Le routeur envoie le datagramme grâce à la carte réseau reliée au réseau sur lequel le routeur décide d'envoyer le paquet.

Ainsi, il y a deux scénarios, soit l'émetteur et le destinataire appartiennent au même réseau auquel cas on parle de **remise directe**, soit il y a au moins un routeur entre l'expéditeur et le destinataire, auquel cas on parle de **remise indirecte**.

Dans le cas de la remise indirecte, le rôle du routeur, notamment celui de la table de routage, est très important. Ainsi le fonctionnement d'un routeur est déterminé par la façon selon laquelle cette table de routage est créée :

- Si la table routage est entrée manuellement par l'administrateur, on parle de **routage statique** (viable pour de petits réseaux).

- Si le routeur construit lui-même la table de routage en fonctions des informations qu'il reçoit (par l'intermédiaire de protocoles de routage), on parle de **routage dynamique.**

Table de routage

La **table de routage** est une table de correspondance entre l'adresse de la machine visée et le nœud suivant auquel le routeur doit délivrer le message. En réalité il suffit que le message soit délivré sur le réseau qui contient la machine, il n'est donc pas nécessaire de stocker l'adresse IP complète de la machine : seul l'identificateur du réseau de l'adresse IP (c'est-à-dire l'ID réseau) a besoin d'être stocké.

La table de routage est donc un tableau contenant des paires d'adresses :

Adresse de destination	Adresse du prochain routeur directement accessible	Interface

Grâce à cette table, le routeur, connaissant l'adresse du destinataire encapsulée dans le message, va être capable de savoir sur quelle interface envoyer le message (cela revient à savoir quelle carte réseau utiliser), et à quel routeur, directement accessible sur le réseau auquel cette carte est connectée, remettre le datagramme.

Ce mécanisme consistant à ne connaître que l'adresse du prochain maillon menant à la destination est appelé **routage par sauts successifs** (*next-hop routing*).

Cependant, il se peut que le destinataire appartienne à un réseau non référencé dans la table de routage. Dans ce cas, le routeur utilise un **routeur par défaut** (appelé aussi *passerelle par défaut*).

Voici, de façon simplifiée, ce à quoi pourrait ressembler une table de routage :

Adresse de destination	Adresse du prochain routeur directement accessible	Interface
194.56.32.124	131.124.51.108	2

Adresse de destination	Adresse du prochain routeur directement accessible	Interface
110.78.202.15	131.124.51.108	2
53.114.24.239	194.8.212.6	3
187.218.176.54	129.15.64.87	1

Le message est ainsi remis de routeur en routeur par sauts successifs, jusqu'à ce que le destinataire appartienne à un réseau directement connecté à un routeur. Celui-ci remet alors directement le message à la machine visée…

À savoir

Désormais, un routeur peut disposer de tables de routage IPv4 et IPv6.

Protocole RIP

Le **protocole RIP** (*Routing Information Protocol* ou protocole d'information de routage) est un protocole de type *Vector Distance* (vecteur distance), c'est-à-dire que chaque routeur communique aux autres routeurs la distance qui les sépare (le nombre de saut qui les sépare). Ainsi, lorsqu'un routeur reçoit un de ces messages il incrémente cette distance de 1 et communique le message aux routeurs directement accessibles. Les routeurs peuvent donc conserver de cette façon la route optimale d'un message en stockant l'adresse du routeur suivant dans la table de routage de telle façon que le nombre de sauts pour atteindre un réseau soit minimal. Toutefois ce protocole ne prend en compte que la distance entre deux machines en termes de saut, mais il ne considère pas l'état de la liaison afin de choisir la meilleure bande passante possible.

Protocole OSPF

Le **protocole OSPF** (*Open Shortest Path First*) est plus performant que le protocole RIP et commence donc à le remplacer petit à

petit. Il s'agit d'un protocole de type **protocole route-link** (que l'on pourrait traduire par *protocole d'état des liens*), cela signifie que, contrairement à RIP, ce protocole n'envoie pas aux routeurs adjacents le nombre de sauts qui les sépare, mais l'état de la liaison qui les sépare. De cette façon, chaque routeur est capable de dresser une carte de l'état du réseau et peut par conséquent choisir à tout moment la route la plus appropriée pour un message donné.

De plus, ce protocole évite aux routeurs intermédiaires d'avoir à incrémenter le nombre de sauts, ce qui se traduit par une information beaucoup moins abondante, ce qui permet d'avoir une meilleure bande passante utile qu'avec RIP.

Protocoles d'accès au réseau

La plupart des personnes ne disposent pas d'accès Internet direct ; elles emploient les lignes téléphoniques, soit physique, soit sans fil ou une liaison fibre dédiée. La connexion se fait grâce à un **modem**, un appareil capable de convertir les données numériques de l'ordinateur en signaux analogiques ou à un adaptateur qui envoie directement des données numériques (ADSL, fibre).

Il est nécessaire d'utiliser un protocole permettant une communication standard entre les différentes machines : ce protocole est pour des raisons historiques nommé **protocole modem**.

Notion de liaison point à point

Par la ligne téléphonique classique, deux ordinateurs maximums peuvent communiquer par modem ensemble (au même titre qu'il n'est pas possible d'appeler simultanément deux personnes par la même ligne téléphonique). On dit alors que l'on a une **liaison point à point**, c'est-à-dire une liaison entre deux machines réduite à sa plus simple expression : il n'y a pas nécessité de partager la ligne entre plusieurs machines, chacune parle et répond à son tour.

Ainsi, de nombreux protocoles de modem ont été mis au point. Les premiers d'entre eux permettaient une simple transmission de données entre deux machines, puis certains furent dotés d'un contrôle d'erreur, et avec la montée d'Internet, ils furent dotés de

la capacité d'adresser des machines. De cette façon, il existe désormais deux grands protocoles de modem :

- SLIP : un protocole ancien, faible en contrôles.
- PPP : le protocole le plus utilisé pour les accès à Internet par modem, il autorise un adressage des machines.

Protocole SLIP

Le **protocole SLIP** (*Serial Line Internet Protocol*, traduisez *protocole Internet de liaison en série*) est le résultat de l'intégration des protocoles modems précédents à la suite des protocoles TCP/IP.

Il s'agit d'un protocole de liaison Internet simple n'effectuant ni contrôle d'adresse, ni contrôle d'erreur, c'est la raison pour laquelle il est vite devenu obsolète par rapport à PPP.

La transmission de données avec SLIP est très simple : ce protocole envoie une trame composée uniquement des données à envoyer suivies d'un caractère de fin de transmission (le caractère END, dont le code ASCII est 192). Une trame SLIP ressemble donc à ceci :

Données à transmettre	END

Protocole PPP

Le **protocole PPP** (*Point to Point Protocol*, traduisez *protocole point à point*) est un protocole beaucoup plus élaboré que SLIP, dans la mesure où il transfère des données supplémentaires, mieux adaptées à la transmission de données sur Internet (l'ajout d'informations dans une trame a été rendu possible par l'augmentation de la bande passante).

PPP est en réalité un ensemble de trois protocoles :

- un protocole d'encapsulation de datagrammes ;
- un protocole de contrôle de liaison (LCP, *Link Control Protocol*), permettant des contrôles de test et de configuration de la communication ;
- un ensemble de protocoles de contrôle de réseau (**NCP**, *Network Control Protocol*) permettant des contrôles d'intégration de PPP au sein de protocoles de couches supérieures.

Les données encapsulées dans une trame PPP sont appelées **paquets** (*packets*). Ces paquets sont généralement des datagrammes, mais il peut s'avérer qu'ils soient autre chose (d'où la dénomination spécifique de *paquet* au lieu de datagramme). Ainsi, un champ de la trame est réservé au type de protocole auquel le paquet appartient. Une trame PPP ressemble à ceci :

Protocole (1-2 octets)	Données à transmettre	Données de remplissage

Les données de remplissage servent à adapter la longueur de la trame pour certains protocoles.

Une session PPP (de l'ouverture à la fermeture) se déroule comme suit :

- Lors de la connexion, un paquet LCP est envoyé.
- En cas de demande d'authentification de la part du serveur, un paquet correspondant à un protocole d'authentification peut être envoyé (PAP, *Password Authentification Protocol*, ou CHAP, *Challenge Handshake Authentification Protocol* ou Kerberos).
- Une fois la communication établie, PPP envoie des informations de configuration grâce au protocole NCP.
- Les datagrammes à envoyer sont transmis sous forme de paquets.
- À la déconnexion, un paquet LCP est envoyé pour mettre fin à la session.

Pour en savoir plus : reportez-vous à la RFC 1661 expliquant de manière détaillée le protocole PPP :
http://abcdrfc.free.fr/rfc-vf/rfc1661.html

Protocoles applicatifs

Protocole HTTP

Le **protocole HTTP** (*HyperText Transfer Protocol*) est le protocole le plus utilisé sur Internet depuis 1990.

La version 0.9 était uniquement destinée à transférer des données sur Internet en particulier des pages web écrites en HTML.

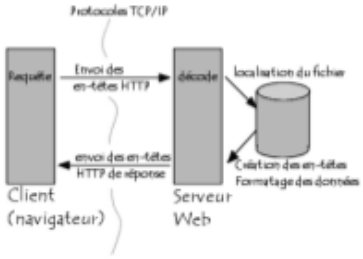
La version 1.0 du protocole (la plus utilisée) permet désormais de transférer des messages avec des en-têtes décrivant le contenu du message en utilisant un codage de type MIME.

Le but du protocole HTTP est de permettre un transfert de fichiers localisés (essentiellement au format HTML) grâce à une chaîne de caractères appelée **URL** entre un **navigateur** (le client) et un **serveur Web** (appelé d'ailleurs *httpd* sur les machines Unix).

Communication entre navigateur et serveur

La **communication** entre le navigateur et le serveur se fait en deux temps :

- Le navigateur effectue une **requête HTTP.**
- Le serveur traite la requête puis envoie une **réponse HTTP.**



Requête HTTP

Une **requête HTTP** est un ensemble de lignes envoyé au serveur par le navigateur. Elle comprend :

- **Une ligne de requête** : c'est une ligne précisant le type de document demandé, la méthode qui doit être appliquée et la version du protocole utilisée. La ligne comprend trois éléments devant être séparés par un espace : la méthode, l'URL et la version du protocole utilisé par le client (généralement *HTTP/1.0*).
- **Les champs d'en-tête de la requête** : il s'agit d'un ensemble de lignes facultatives permettant de donner des informations supplémentaires sur la requête et/ou le client (navigateur, système d'exploitation...). Chacune de ces lignes est composée d'un nom qualifiant le type d'en-tête, suivi de deux points (:) et de la valeur de l'en-tête.
- **Le corps de la requête** : c'est un ensemble de lignes optionnelles devant être séparées des lignes précédentes par une ligne vide et permettant par exemple un envoi de données par une commande POST lors de l'envoi de données au serveur par un formulaire.

Une requête HTTP a donc la syntaxe suivante (`<crlf>` signifie retour chariot ou saut de ligne) :

```
METHODE URL VERSION<crlf>
EN-TETE : Valeur<crlf>
.
.
.
EN-TETE : Valeur<crlf>
```

```
Ligne vide<crlf>
CORPS DE LA REQUETE
```

Voici donc un exemple de requête HTTP :

```
GET http://www.commentcamarche.net HTTP/1.0
Accept : text/html
If-Modified-Since : Saturday, 15-January-2000 14:37:11 GMT
User-Agent : Mozilla/4.0 (compatible; MSIE 5.0; Windows 95)
```

En-têtes de requête HTTP

Nom de l'en-tête	Description
Accept	Type de contenu accepté par le navigateur (par exemple *text/html*). Voir types MIME.
Accept-Charset	Jeu de caractères attendu par le navigateur.
Accept-Encoding	Codage de données accepté par le navigateur.
Accept-Language	Langage attendu par le navigateur (anglais par défaut).
Authorization	Identification du navigateur auprès du serveur.
Content-Encoding	Type de codage du corps de la requête.
Content-Language	Type de langage du corps de la requête.
Content-Length	Longueur du corps de la requête.
Content-Type	Type de contenu du corps de la requête (par exemple *text/html*).
Date	Date de début de transfert des données.
Forwarded	Utilisé par les machines intermédiaires entre le navigateur et le serveur.
From	Permet de spécifier l'adresse e-mail du client.
From	Permet de spécifier que le document doit être envoyé s'il a été modifié depuis une certaine date.
Link	Relation entre deux URL.
Orig-URL	URL d'origine de la requête.
Referer	URL du lien à partir duquel la requête a été effectuée.
User-Agent	Chaîne donnant des informations sur le client, comme le nom et la version du navigateur, du système d'exploitation.

❑ Commandes de requête HTTP

Commande	Description
GET	Requête de la ressource située à l'URL spécifiée.
HEAD	Requête de l'en-tête de la ressource située à l'URL spécifiée.
POST	Envoi de données au programme situé à l'URL spécifiée.
PUT	Envoi de données à l'URL spécifiée.
DELETE	Suppression de la ressource située à l'URL spécifiée.

Réponse HTTP

Une **réponse HTTP** est un ensemble de lignes envoyées au navigateur par le serveur. Elle comprend :

- **Une ligne de statut** : c'est une ligne précisant la version du protocole utilisé et l'état du traitement de la requête à l'aide d'un code et d'un texte explicatif. La ligne comprend trois éléments devant être séparés par un espace : la version du protocole utilisé, le code de statut et la signification du code.
- **Les champs d'en-tête de la réponse** : il s'agit d'un ensemble de lignes facultatives permettant de donner des informations supplémentaires sur la réponse et/ou le serveur. Chacune de ces lignes est composée d'un nom qualifiant le type d'en-tête, suivi de deux points (:) et de la valeur de l'en-tête.
- **Le corps de la réponse** : il contient le document demandé.

Une réponse HTTP a donc la syntaxe suivante (<crlf> signifie retour chariot ou saut de ligne) :

```
VERSION-HTTP CODE EXPLICATION<crlf>
EN-TETE : Valeur<crlf>
.
.
.
EN-TETE : Valeur<crlf>
Ligne vide<crlf>
CORPS DE LA REPONSE
```

Voici donc un exemple de réponse HTTP :

```
HTTP/1.0 200 OK
Date : Sat, 15 Jan 2000 14:37:12 GMT
Server : Microsoft-IIS/2.0
Content-Type : text/HTML
Content-Length : 1245
Last-Modified : Fri, 14 Jan 2000 08:25:13 GMT
```

En-têtes de réponse HTTP

Nom de l'en-tête	Description
`Content-Encoding`	Type de codage du corps de la réponse.
`Content-Language`	Type de langage du corps de la réponse.
`Content-Length`	Longueur du corps de la réponse
`Content-Type`	Type de contenu du corps de la réponse (ex. : *text/html*).
`Date`	Date de début de transfert des données.
`Expires`	Date limite de consommation des données.
`Forwarded`	Utilisé par les machines intermédiaires entre le *browser* et le serveur.
`Location`	Redirection vers une nouvelle URL associée au document.
`Server`	Caractéristiques du serveur ayant envoyé la réponse.

Codes de réponse

Les **codes de réponse** sont les codes que vous voyez lorsque le navigateur n'arrive pas à vous fournir la page demandée. Ils sont constitués de trois chiffres : le premier indique la classe de statut et les suivants la nature exacte de l'erreur.

Code	Message	Description
1Ox	Message d'information	Ces codes ne sont pas utilisés dans la version 1.0 du protocole.
2Ox	Réussite	Ces codes indiquent le bon déroulement de la transaction.
200	OK	La requête a été accomplie correctement.

Code	Message	Description
201	CREATED	Elle suit une commande POST, elle indique la réussite, le corps du reste du document est censé indiquer l'URL à laquelle le document nouvellement créé devrait se trouver.
202	ACCEPTED	La requête a été acceptée, mais la procédure qui suit n'a pas été accomplie.
203	PARTIAL INFORMATION	Lorsque ce code est reçu en réponse à une commande GET, cela indique que la réponse n'est pas complète.
204	NO RESPONSE	Le serveur a reçu la requête mais il n'y a pas d'information à renvoyer.
205	RESET CONTENT	Le serveur indique au navigateur de supprimer le contenu des champs d'un formulaire.
206	PARTIAL CONTENT	Il s'agit d'une réponse à une requête comportant l'en-tête *range*. Le serveur doit indiquer l'en-tête *content-Range*.
30x	Redirection	Ces codes indiquent que la ressource n'est plus à l'emplacement indiqué.
301	MOVED	Les données demandées ont été transférées à une nouvelle adresse.
302	FOUND	Les données demandées sont à une nouvelle URL, mais ont peut-être été déplacées depuis…
303	METHOD	Cela implique que le client doit essayer une nouvelle adresse, en essayant de préférence une autre méthode que GET.
304	NOT MODIFIED	Si le client a effectué une commande GET conditionnelle (en demandant si le document a été modifié depuis la dernière fois) et que le document n'a pas été modifié il renvoie ce code.
40x	Erreur due au client	Ces codes indiquent que la requête est incorrecte.
400	BAD REQUEST	La syntaxe de la requête est mal formulée ou est impossible à satisfaire.

Code	Message	Description
401	UNAUTHORIZED	Le paramètre du message donne les spécifications des formes d'autorisation acceptables. Le client doit reformuler sa requête avec les bonnes données d'autorisation.
402	PAYMENT REQUIRED	Le client doit reformuler sa demande avec les bonnes données de paiement.
403	FORBIDDEN	L'accès à la ressource est tout simplement interdit
404	NOT FOUND	Classique ! Le serveur n'a rien trouvé à l'adresse spécifiée. Parti sans laisser d'adresse... :)
50x	Erreur due au serveur	Ces codes indiquent qu'il y a eu une erreur interne du serveur.
500	INTERNAL ERROR	Le serveur a rencontré une condition inattendue qui l'a empêché de donner suite à la demande.
501	NOT IMPLEMENTED	Le serveur ne supporte pas le service demandé.
502	BAD GATEWAY	Le serveur a reçu une réponse invalide de la part du serveur auquel il essayait d'accéder en agissant comme une passerelle ou un proxy.
503	SERVICE UNAVAILABLE	Le serveur ne peut pas vous répondre à l'instant présent, car le trafic est trop dense.
504	GATEWAY TIMEOUT	La réponse du serveur a été trop longue vis-à-vis du temps pendant lequel la passerelle était préparée à l'attendre.

Pour en savoir plus

Reportez-vous à la RFC 1945 expliquant de manière détaillée le protocole HTTP :

–RFC 1945, Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.0 (traduction française): http://abcdrfc.free.fr/rfc-vf/rfc1945.html

– RFC 1945, Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.0 (version originale) : http://www.ietf.org/rfc/rfc1945.txt

– RFC 2616, Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1 (version originale) : http://www.ietf.org/rfc/rfc2616.txt

Protocole FTP

Le **protocole FTP** (*File Transfer Protocol*) est, comme son nom l'indique, un protocole de transfert de fichier. La mise en place du protocole FTP date de 1971, date à laquelle un mécanisme de transfert de fichiers (décrit dans la RFC 141) entre les machines du MIT (*Massachussetts Institute of Technology*) avait été mis au point. De nombreux RFC ont ensuite apporté des améliorations au protocole de base, mais les plus grandes innovations datent de juillet 1973. Le protocole FTP est actuellement défini par la RFC **959** (*File Transfer Protocol (FTP) - Specifications*).

Rôle du protocole FTP

Le protocole FTP définit la façon selon laquelle des données doivent être transférées sur un réseau TCP/IP. Le protocole **FTP** a pour objectifs de :

- permettre un partage de fichiers entre machines distantes ;
- permettre une indépendance aux systèmes de fichiers des machines clientes et serveur ;
- permettre de transférer des données de manière efficace.

Modèle FTP

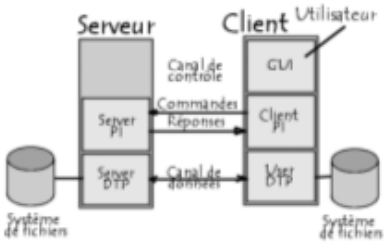
Le protocole FTP s'inscrit dans un modèle client/serveur, c'est-à-dire qu'une machine envoie des ordres (le client) et que l'autre attend des requêtes pour effectuer des actions (le serveur).

Lors d'une connexion FTP, deux canaux de transmission sont ouverts :

- un canal pour les commandes (canal de contrôle) ;
- un canal pour les données.

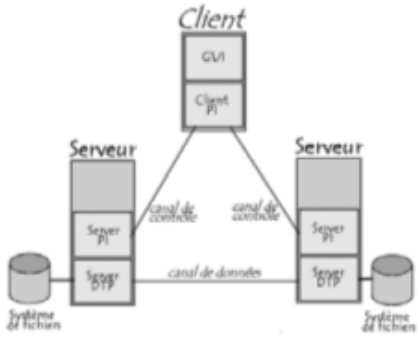
Ainsi, le client comme le serveur possèdent deux processus permettant de gérer ces deux types d'information :

- Le **DTP** (*Data Transfer Process*) est le processus chargé d'établir la connexion et de gérer le canal de données. Le DTP côté serveur est appelé SERVER-DTP, le DTP côté client est appelé USER-DTP.



- Le **PI** (*Protocol Interpreter*) est l'interpréteur de protocole permettant de commander le DTP à l'aide des commandes reçues sur le canal de contrôle. Il est différent sur le client et sur le serveur :
  - Le SERVER-PI est chargé d'écouter les commandes provenant d'un USER-PI sur le canal de contrôle sur un port donné, d'établir la connexion pour le canal de contrôle, de recevoir sur celui-ci les commandes FTP de l'USER-PI, d'y répondre et de piloter le SERVER-DTP.
  - Le USER-PI est chargé d'établir la connexion avec le serveur FTP, d'envoyer les commandes FTP, de recevoir les réponses du SERVER-PI et de contrôler le USER-DTP si besoin.

Lors de la connexion d'un client FTP à un serveur FTP, le USER-PI initie la connexion au serveur selon le protocole Telnet. Le client envoie des commandes FTP au serveur, ce dernier les interprète, pilote son DTP, puis renvoie une réponse standard. Lorsque la connexion est établie, le SERVER-PI donne le port sur lequel les données seront envoyées au USER-DTP. Le USER-DTP écoute alors sur le port spécifié les données en provenance du serveur.



Il est important de remarquer que, les ports de contrôle et de données étant des canaux séparés, il est possible d'envoyer les commandes à partir d'une machine et de recevoir les données sur une autre.

Ainsi, il est par exemple possible de transférer des données entre deux serveurs FTP en passant par un client pour envoyer les instructions de contrôle et en transférant les informations entre deux processus serveurs connectés sur le bon port.

Dans cette configuration, le protocole impose que les canaux de contrôle restent ouverts pendant tout le transfert de données. Ainsi un serveur peut arrêter une transmission si le canal de contrôle est coupé lors de la transmission.

Commandes FTP

Toutes les communications effectuées sur le canal de contrôle suivent les recommandations du protocole Telnet. Ainsi les commandes FTP sont des chaînes de caractères Telnet (en code NVT-ASCII) terminées par le code de fin de ligne Telnet (c'est-à-dire la séquence <CR>+<LF>, **Carriage Return** (retour chariot) suivi du caractère **Line Feed**, notée <CRLF>). Si la commande FTP admet un paramètre, celui-ci est séparé de la commande par un espace (<SP>).

Les commandes FTP permettent de préciser :

- le port utilisé,
- le mode de transfert des données,
- la structure des données,
- la nature de l'action à effectuer (Retrieve, List, Store...).

On distingue trois types de commandes FTP :

- les commandes de contrôle d'accès,
- les commandes du paramétrage de transfert,
- les commandes de service FTP.

❑ Commande de contrôle d'accès

Commande	Description
ACCT	Chaîne de caractères représentant le compte (*account*) de l'utilisateur. Cette commande n'est généralement pas nécessaire. Lors de la réponse à l'acceptation du mot de passe, si la réponse est 230 cette phase n'est pas nécessaire, si la réponse est 332, elle l'est.
CDUP	*Change to Parent Directory* : cette commande permet de remonter au répertoire parent. Elle a été introduite pour remédier aux problèmes de nommage de répertoire parent selon les systèmes (généralement "..")
CWD	*Change Working Directory* : cette commande permet de changer le répertoire courant. Cette commande nécessite le chemin d'accès au répertoire à atteindre comme argument.
PASS	Chaîne de caractères spécifiant le mot de passe de l'utilisateur. Cette commande doit être immédiatement précédée de la commande USER. Il revient au client de masquer l'affichage de cette commande pour des raisons de sécurité.
QUIT	Commande permettant de terminer la session en cours. Le serveur attend de finir le transfert en cours le cas échéant, puis de fournir une réponse avant de fermer la connexion.
USER	Chaîne de caractères permettant d'identifier l'utilisateur. L'identification de l'utilisateur est nécessaire pour établir une communication sur le canal de données.

❑ Commande du paramètrage de transfert

Commande	Description
MODE	Caractère Telnet précisant le mode de transfert des données (S pour *Stream*, B pour *Block*, C pour *Compressed*).
PASV	Commande permettant d'indiquer au serveur DTP de se mettre en attente d'une connexion sur un port spécifique choisi aléatoirement parmi les ports disponibles. La réponse à cette commande est l'adresse IP de la machine et le port.
PORT	Chaîne de caractères permettant de préciser le numéro de port à utiliser.

Commande	Description
STRU	Caractère Telnet précisant la structure du fichier (F pour *File*, R pour *Record*, P pour *Page*).
TYPE	Cette commande permet de préciser le type de format dans lequel les données seront envoyées.

❑ Commande de service FTP

Commande	Description
ABOR	Cette commande (*abort*) indique au serveur DTP d'abandonner tous les transferts associés à la commande précédente. Si aucune connexion de données n'est ouverte, le serveur DTP ne fait rien, sinon il la ferme. Le canal de contrôle reste par contre ouvert.
ALLO	Cette commande (*allocate*) demande au serveur de prévoir un espace de stockage suffisant pour contenir le fichier dont le nom est passé en argument.
APPE	Grâce à cette commande (*append*) les données envoyées sont concaténées dans le fichier portant le nom passé en paramètre s'il existe déjà, dans le cas contraire il est créé.
DELE	Cette commande (*delete*) permet de supprimer le fichier dont le nom est passé en paramètre. Cette commande est irrémédiable, seule une confirmation au niveau du client peut être faite.
HELP	Cette commande permet de connaître l'ensemble des commandes comprises par le serveur. Les informations sont retournées sur le canal de contrôle.
LIST	Cette commande permet de renvoyer la liste des fichiers et répertoires présents dans le répertoire courant. Cette liste est envoyée sur le DTP passif. Il est possible de passer en paramètre de cette commande un nom de répertoire, le serveur DTP enverra la liste des fichiers dans le répertoire passé en paramètre.
MKD	Cette commande (*make directory*) permet de créer un répertoire. Elle indique en paramètre le nom du répertoire à créer.

Commande	Description
NLST	Cette commande (*name liste*) permet d'envoyer la liste des fichiers et répertoires dans le répertoire courant.
NOOP	Cette commande (*no operations*) sert uniquement à obtenir une commande OK du serveur. Elle peut servir uniquement pour ne pas être déconnecté après un temps d'inactivité trop élevé
PWD	Cette commande (*print working directory*) permet de renvoyer le chemin complet du répertoire courant.
REST	Cette commande (*restart*) permet de reprendre un transfert là où il s'était arrêté. Pour cela cette commande envoie en paramètre le marqueur représentant la position dans le fichier à laquelle le transfert avait été interrompu. Cette commande doit être immédiatement suivie d'une commande de transfert.
RETR	Cette commande (*RETRIEVE*) demande au serveur DTP une copie du fichier dont le chemin d'accès est passé en paramètre.
RMD	Cette commande (*remove directory*) permet de supprimer un répertoire. Elle indique en paramètre le nom du répertoire à supprimer.
RNFR	Cette commande (*rename from*) permet de renommer un fichier. Elle indique en paramètre le nom du fichier à renommer et doit être immédiatement suivie de la commande *RNTO*.
RNTO	Cette commande (*rename to*) permet de renommer un fichier. Elle indique en paramètre le nom du fichier à renommer et doit être immédiatement précédée de la commande *RNFR*.
SITE	Cette commande (*site parameters*) permet au serveur de proposer des services spécifiques, non définis dans le protocole FTP.
STAT	Cette commande (*status*) permet d'émettre l'état du serveur, par exemple pour connaître la progression d'un transfert en cours. Cette commande accepte en argument un chemin d'accès, elle retourne alors les mêmes informations que LIST mais sur le canal de contrôle.

Commande	Description
STOR	Cette commande (*store*) demande au serveur DTP d'accepter les données envoyées sur le canal de données et de les stocker dans le fichier portant le nom passé en paramètre. Si le fichier n'existe pas, le serveur le crée, sinon il l'écrase.
STOU	Cette commande est identique à la précédente, si ce n'est qu'elle demande au serveur de créer un fichier dont le nom est unique. Le nom du fichier est retourné dans la réponse.
SYST	Cette commande (*system*) permet d'envoyer des informations sur le serveur distant.

Réponse FTP

Les **réponses FTP** permettent d'assurer la synchronisation entre client et serveur FTP. Ainsi à chaque commande envoyée par le client, le serveur effectuera éventuellement une action et renverra systématiquement une réponse.

Les réponses sont constituées d'un code à trois chiffres indiquant la façon suivant laquelle la commande envoyée par le client a été traitée :

- Le premier chiffre indique le statut de la réponse (succès ou échec).
- Le second chiffre indique ce à quoi la réponse fait référence.
- Le troisième chiffre donne une signification plus spécifique (relative à chaque deuxième chiffre).

Toutefois, ce code à trois chiffres étant difficilement lisible par un humain, il est accompagné d'un texte (chaîne de caractères Telnet séparée du code numérique par un espace).

Premier chiffre

Chiffre	Signification	Description
1yz	Réponse préliminaire positive	L'action demandée est en cours de réalisation, une seconde réponse doit être obtenue avant d'envoyer une deuxième commande.

Chiffre	Signification	Description
2yz	Réponse positive de réalisation	L'action demandée a été réalisée, une nouvelle commande peut être envoyée.
3yz	Réponse intermédiaire positive	L'action demandée est temporairement suspendue. Des informations supplémentaires sont attendues de la part du client.
4yz	Réponse négative de réalisation	L'action demandée n'a pas eu lieu car la commande n'a temporairement pas été acceptée. Le client est prié de réessayer ultérieurement.
5yz	Réponse négative permanente	L'action demandée n'a pas eu lieu car la commande n'a pas été acceptée. Le client est prié de formuler une requête différente.

- Second chiffre

Chiffre	Signification	Description
x0z	Syntaxe	L'action possède une erreur de syntaxe, ou bien il s'agit d'une commande non comprise par le serveur.
x1z	Information	Il s'agit d'une réponse renvoyant des informations (par exemple pour une réponse à une commande STAT).
x2z	Connexions	La réponse concerne le canal de données.
x3z	Authentification et comptes	La réponse concerne le login (USER/PASS) ou la demande de changement de compte (CPT).
x4z	Non utilisé par le protocole FTP	
x5z	Système de fichiers	La réponse concerne le système de fichiers distant.

Démarrage d'une session FTP

La commande ftp est disponible en standard sous diverses plates-formes, dont Unix, Windows et Linux. La commande permettant d'initier une session FTP est généralement la suivante :

```
ftp nom_du_serveur
```

où `nom_du_serveur` représente le nom ou l'adresse IP de la machine distante à laquelle on désire se connecter. Il faut bien évidemment que la machine cible dispose d'un service FTP.

Lors de l'initialisation de la connexion, un certain nombre de lignes de texte apparaîssent à l'écran. La première ligne signale que vous êtes connecté à un serveur FTP, les lignes suivantes constituent un message de bienvenue, pouvant indiquer le type de site FTP dont il s'agit (i.e quel genre de fichiers il héberge ou l'organisme auquel il appartient), ou bien des recommandations pour les utilisateurs.

Sous FTP, chaque ligne commence par un numéro indiquant un code relatif à un échec ou une réussite. Dans le cas du message de bienvenue, la ligne est par exemple précédée du nombre 220, qui signifie que *le service est prêt pour le nouvel utilisateur*.

Le serveur vous demande de saisir votre nom d'utilisateur (*login* ou *identifiant*), afin de définir des privilèges d'accès (comme le droit d'écriture ou de lecture). Après validation, une ligne commençant par le nombre 331 vous invite à saisir votre mot de passe (*password*), celui-ci est masqué, c'est-à-dire qu'il n'apparaît pas à l'écran.

Il se peut que le serveur soit public, auquel cas l'accès peut se faire anonymement, il faudra donc rentrer comme *login* : « anonymous ». La coutume veut, pour les serveurs publics, que l'utilisateur saisisse comme mot de passe son adresse de courrier électronique, mais vous pouvez rentrer celui de votre choix.

Lors de la validation du mot de passe, un message indiquera si la connexion a été établie ou non, auquel cas les raisons seront données (le site peut par exemple avoir atteint sa limite supérieure en terme d'utilisateur, dans ce cas le message *No more user access allowed* apparaît). Une fois connecté le site FTP attend de la part de l'utilisateur des commandes décrivant les actions à effectuer.

Pour en savoir plus

La RFC 959 explique en détail le protocole FTP : www.ietf.org/rfc/rfc959.txt

Protocole Telnet

Le **protocole Telnet** est un protocole standard d'Internet permettant l'interfaçage de terminaux et d'applications à travers Internet. Ce protocole fournit les règles de base pour permettre de relier un client (système composé d'un affichage et d'un clavier) à un interpréteur de commande (côté serveur). Il s'appuie sur une connexion TCP pour envoyer des données au format ASCII codées sur 8 bits entre lesquelles s'intercalent des séquences de contrôle Telnet. Il fournit ainsi un système orienté communication, bi-directionnel (half-duplex), codé sur 8 bits facile à mettre en œuvre.

Le protocole Telnet repose sur trois concepts fondamentaux :

- Le paradigme du terminal réseau virtuel (NVT, *Network Virtual Terminal*).
- Le principe d'options négociées.
- Les règles de négociation.

Ce protocole est un protocole de base, sur lequel s'appuient certains autres protocoles de la suite TCP/IP (FTP, SMTP, POP3...). Les spécifications de Telnet ne mentionnent pas d'authentification car Telnet est totalement séparé des applications qui l'utilisent (le protocole FTP définit une séquence d'authentification au-dessus de Telnet). En outre le protocole Telnet est un protocole de transfert de données non sûr, c'est-à-dire que les données qu'il véhicule circulent en clair sur le réseau (de manière non chiffrée). Lorsque le protocole Telnet est utilisé pour connecter un hôte distant à la machine sur lequel il est implémenté en tant que serveur, ce protocole est assigné au port 23.

Hormis les options et les règles de négociation associées, les spécifications du protocole Telnet sont basiques. La transmission de données à travers Telnet consiste uniquement à transmettre les octets dans le flux TCP. Le protocole Telnet précise tout de même que les données doivent par défaut, c'est-à-dire si aucune option ne précise le contraire, être groupées dans un tampon avant d'être envoyées. Plus exactement cela signifie que par défaut les données sont envoyées ligne par ligne. Lorsque l'octet 255 est transmis, l'octet suivant doit être interprété comme une commande. L'octet 255 est ainsi nommé **IAC** (*Interpret As Command*, traduisez *Interpréter comme une commande*).

Les spécifications basiques du protocole Telnet sont disponibles dans la RFC 854, tandis que les nombreuses options sont décrites par les RFC 855 à 861.

Notion de terminal virtuel

Aux débuts d'Internet, le réseau (ARPANET) était composé de machines dont les configurations étaient très peu homogènes (claviers, jeux de caractères, résolutions, longueur des lignes d'affichage). D'autre part, les sessions des terminaux possédaient également leur propre façon de contrôler les flux de données en entrée/sortie.

Ainsi, au lieu de créer des adaptateurs pour chaque type de terminal afin qu'il puisse y avoir une interopérabilité de ces systèmes, il a été décidé de mettre au point une interface standard, appelée **NVT** (*Network Virtual Terminal*, traduisez *terminal réseau virtuel*), fournissant une base de communication standard, composée de :

- Caractères ASCII 7 bits auxquels s'ajoute le code ASCII étendu.
- Trois caractères de contrôle.
- Cinq caractères de contrôle optionnels.
- Un jeu de signaux de contrôle basique.

Le protocole Telnet consiste ainsi à créer une abstraction du terminal, permettant à n'importe quel hôte (client ou serveur) de communiquer avec un autre hôte sans connaître ses caractéristiques.

Principe d'options négociées

Les spécifications du protocole Telnet permettent de prendre en compte le fait que certains terminaux puissent proposer des services additionnels, non définis dans les spécifications de base (mais conformes aux spécifications), afin de pouvoir utiliser des fonctions avancées. Ainsi, ces fonctionnalités se traduisent en termes d'**options**.

Le protocole Telnet propose donc un système de négociations d'options. Cela permet l'utilisation de fonctions avancées sous forme d'options de part et d'autre, en initiant des requêtes pour en

demander l'autorisation au système distant. Les options de Telnet affectent séparément chaque direction du canal de données. Ainsi, chaque extrémité est à même de négocier les options, c'est-à-dire de définir les options qu'elle :

- veut utiliser (*DO*),
- refuse d'utiliser (*DON'T*),
- veut que l'autre extrémité utilise (*WILL*),
- refuse que l'autre extrémité utilise (*WON'T*).

De cette façon, chacune des parties peut émettre une demande d'utilisation d'une option. L'autre partie doit alors répondre si elle accepte ou non l'utilisation de l'option. Dans le cas où la requête concerne une désactivation d'option, le destinataire de la requête ne doit pas la refuser, pour être totalement compatible avec le modèle NVT.

La négociation d'options Telnet		
Requête	**Réponse**	**Interprétation**
DO	WILL	L'émetteur commence en utilisant l'option
	WON'T	L'émetteur ne doit pas utiliser l'option
WILL	DO	L'émetteur commence en utilisant l'option, après avoir envoyé un DO
	DON'T	L'émetteur ne doit pas utiliser l'option
DON'T	WON'T	L'émetteur signale qu'il a désactivé l'option
WON'T	DON'T	L'émetteur signale que l'émetteur doit désactiver l'option

Il existe 255 codes d'options. Le protocole Telnet prévoit tout de même un espace d'adressage permettant de décrire de nouvelles options. Le RFC 855 explique comment documenter toute nouvelle option.

Règles de négociation

Des **règles de négociation** d'options permettent d'éviter des situations de bouclage (par exemple qu'une des parties envoie des requêtes de négociation d'options à chaque confirmation de l'autre partie) :

- Les requêtes ne doivent être émises que lors d'un changement de mode.
- Lorsqu'une des parties reçoit une requête de changement de mode, il ne doit l'acquitter que s'il ne se trouve pas déjà dans le mode approprié.
- Une requête ne doit être insérée dans le flux de données qu'à l'endroit où elle prend effet.

Caractères de contrôle

Caractères de contrôle de la sortie

Les caractères suivants sont des commandes permettant de contrôler l'affichage du terminal réseau virtuel :

Commandes de contrôle de l'affichage			
Numéro	**Code**	**Nom**	**Signification**
0	NULL	*Null*	Cette commande permet d'envoyer des données à l'hôte distant sans que celles-ci ne soient interprétées (notamment pour signaler que l'hôte local est toujours en ligne).
1	LF	*Line Feed*	Cette commande permet de déplacer le curseur d'impression à la ligne suivante, à la même position horizontale.
2	CR	*Carriage Return*	Cette commande (*Retour Chariot*) permet de déplacer le curseur d'impression à l'extrême gauche de la ligne courante.

Ainsi, on définit la commande `CRLF`, composée des deux commandes `CR` et `LF` l'une après l'autre (dans n'importe quel ordre) permettant de déplacer le curseur d'impression à l'extrême gauche de la ligne suivante.

Caractères de contrôle optionnels

Les caractères précédents sont les seuls (parmi les 128 caractères du code ASCII de base et des 128 caractères du code ASCII étendu) à posséder une signification particulière pour le

terminal réseau virtuel. Les caractères suivants peuvent éventuellement avoir une signification sur un terminal réseau virtuel mais ne sont pas nécessairement implémentés.

Commandes de contrôle de l'affichage			
Numéro	**Code**	**Nom**	**Signification**
7	BEL	*Bell*	Cette commande permet d'émettre un signal sonore ou visuel sans modifier la position du curseur.
8	BS	*BackSpace*	Cette commande permet de modifier la position du curseur vers sa position précédente.
9	HT	*Horizontal Tab*	Cette commande permet de modifier la position du curseur vers la tabulation suivante à droite.
11	VT	*Vertical Tab*	Cette commande permet de modifier la position du curseur vers la tabulation suivante de la ligne du dessous.
12	FF	*Form Feed*	Cette commande permet de modifier la position du curseur vers le bas à la page suivante en conservant la position horizontale.

❑ Caractères de contrôle de la session

Les caractères suivants sont des commandes permettant de contrôler la session Telnet.

Ces commandes pour être interprétées en tant que telles doivent être précédées du **caractère d'échappement IAC** (*Interpret As Command*). Ainsi, si ces octets sont transmis sans être précédés du caractère IAC, ils seront traités comme de simples caractères. Pour transmettre le caractère IAC, il faut le faire précéder d'un caractère d'échappement (lui-même) autrement dit il doit être doublé.

Les commandes correspondant à une négociation d'option doivent être suivies d'un octet précisant l'option. Ces commandes permettent d'interrompre des signaux, de supprimer des informations dans le cache du terminal…

Caractères de contrôle de la session			
Numéro	**Code**	**Nom**	**Signification**
240	SE		Fin de négociation d'option.
241	NOP	*No Operation*	Cette commande permet d'envoyer des données à l'hôte distant sans que celles-ci ne soient interprétées (notamment pour signaler que l'hôte local est toujours en ligne).
242	DM	*Data Mark*	Permet de vider l'ensemble des tampons entre le terminal réseau virtuel et l'hôte distant. Elle correspond à un appui sur la touche Synch du NVT et doit impérativement être associé à un marquage du bit Urgent de TCP.
243	BRK	*Break*	Caractère Break du terminal virtuel.
244	IP	*Interrupt Process*	Cette commande permet de suspendre, interrompre ou abandonner le processus distant.
245	AO	*Abort Output*	Cette commande permet de suspendre, interrompre ou abandonner l'affichage du processus distant.
246	AYT	*Are You There*	Cette commande permet de vérifier que le système distant est toujours « en vie ».
247	EC	*Erase Character*	Cette commande permet de supprimer le caractère précédent.
248	EL	*Erase Line*	Cette commande permet de supprimer la ligne précédente.
249	GA	*Go Ahead*	Cette commande permet d'inverser le contrôle, pour les liaisons half-duplex.
250	SB	SB	Cette commande indique que les données qui suivent sont une négociation de l'option précédente.
251	WILL	code d'option	
252	WON'T	code d'option	
253	DO	code d'option	
254	DON'T	code d'option	

Caractères de contrôle de la session			
Numéro	**Code**	**Nom**	**Signification**
255	IAC	*Interpret As Command*	Cette commande permet d'interpréter l'octet suivant comme une commande. La commande IAC permet d'aller au-delà des commandes de base.

Pour en savoir plus

Reportez-vous à la RFC 854 expliquant de manière détaillée le protocole Telnet :
RFC 854 traduite en français :
http://abcdrfc.free.fr/rfc-vf/rfc854.html
RFC 854 originale :
http://www.ietf.org/rfc/rfc854.txt

Protocoles de messagerie

Le **courrier électronique** est considéré comme étant le service le plus utilisé sur Internet. Ainsi la suite de protocoles TCP/IP offre une panoplie de protocoles permettant de gérer facilement le routage du courrier sur le réseau.

Protocole SMTP

Le **protocole SMTP** (*Simple Mail Transfer Protocol*, traduisez *protocole simple de transfert de courrier*) est le protocole standard permettant de transférer le courrier d'un serveur à un autre en connexion point à point.

Il s'agit d'un protocole fonctionnant en mode connecté, encapsulé dans une trame TCP/IP. Le courrier est remis directement au serveur de courrier du destinataire. Le protocole SMTP fonctionne grâce à des commandes textuelles envoyées au serveur SMTP (par défaut sur le port 25). Chacune des commandes envoyées par le client (validée par la chaîne de caractères ASCII CR/LF, équivalent

à un appui sur la touche entrée) est suivie d'une réponse du serveur SMTP composée d'un numéro et d'un message descriptif.

Voici un scénario de demande d'envoi d'e-mail à un serveur SMTP

- Lors de l'ouverture de la session SMTP, la première commande à envoyer est la commande `HELO` suivie d'un espace (noté `<SP>`) et du nom de domaine de votre machine (afin de dire « bonjour je suis telle machine »), puis la validation par Entrée (noté `<CRLF>`). Depuis avril 2001, les spécifications du protocole SMTP, définies dans la RFC 2821, imposent que la commande HELO soit remplacée par la commande `EHLO`.
- La seconde commande est `MAIL FROM:` suivie de l'adresse e-mail de l'expéditeur. Si la commande est acceptée le serveur renvoie le message `250 OK`.
- La commande suivante est `RCPT TO:` suivie de l'adresse email du destinataire. Si la commande est acceptée le serveur renvoie le message `250 OK`.
- La commande `DATA` est la troisième étape de l'envoi. Elle annonce le début du corps du message. Si la commande est acceptée le serveur renvoie un message intermédiaire numéroté `354` indiquant que l'envoi du corps du mail peut commencer et considère l'ensemble des lignes suivantes jusqu'à la fin du message repéré par une ligne contenant uniquement un point. Le corps du mail contient éventuellement certains des en-têtes suivants : Date, Subject, Cc, Bcc, From.

  Si la commande est acceptée le serveur renvoie le message `250 OK`

Exemple

Exemple de transaction entre un client (`C`) et un serveur SMTP (`S`) :

```
S: 220 smtp.commentcamarche.net SMTP Ready
C: EHLO machine1.commentcamarche.net
S: 250 smtp.commentcamarche.net
C: MAIL FROM:<webmaster@commentcamarche.net>
S: 250 OK
C: RCPT TO:<meandus@meandus.net>
S: 250 OK
C: RCPT TO:<tittom@tittom.fr>
S: 550 No such user here
```

```
C: DATA
S: 354 Start mail input; end with <CRLF>.<CRLF>
C: Subject: Petit Bonjour
C: Salut Meandus,
C: comment ca va?
C:
C: A bientot !
C: <CRLF>.<CRLF>
S: 250 OK
C: QUIT
R: 221 smtp.commentcamarche.net closing transmission
```

Les spécifications de base du protocole SMTP veulent que tous les caractères transmis soient codés en code ASCII sur 7 bits et que le 8e bit soit explicitement mis à zéro. Ainsi pour envoyer des caractères accentués, il faut avoir recours à des algorithmes intégrant les spécifications MIME :

- **base64** pour les fichiers attachés,
- **quoted-printable** (QP) pour les caractères spéciaux contenus dans le corps du message.

Il est ainsi possible d'envoyer un courrier grâce à un simple Telnet sur le port 25 du serveur SMTP[1] :

```
telnet smtp.commentcamarche.net 25
```

Voici un récapitulatif des principales commandes SMTP :

Commande	Exemple	Description
HELO (désormais EHLO)	EHLO 193.56.47.125	Identification à l'aide de l'adresse IP ou du nom de domaine de l'ordinateur expéditeur
MAIL FROM:	MAIL FROM: expediteur@domaine.com	Identification de l'adresse de l'expéditeur
RCPT TO:	RCPT TO: destinataire@domaine.com	Identification de l'adresse du destinataire

1. Le serveur indiqué est volontairement inexistant, vous pouvez essayer en remplaçant *commentcamarche.net* par le domaine de votre fournisseur d'accès à Internet.

Commande	Exemple	Description
DATA	DATA message	Corps du mail
QUIT	QUIT	Sortie du serveur SMTP

L'ensemble des spécifications du protocole SMTP sont définies dans la RFC 821 (depuis avril 2001, les spécifications du protocole SMTP sont définies dans la RFC 2821).

Protocole POP3

Le **protocole POP** (*Post Office Protocol* que l'on peut traduire par *protocole de bureau de poste*) permet comme son nom l'indique d'aller récupérer son courrier sur un serveur distant (le serveur POP). Il est nécessaire pour les personnes n'étant pas connectées en permanence à Internet afin de pouvoir consulter les mails reçus hors connexion.

Il existe deux principales versions de ce protocole, **POP2** et **POP3**, auxquels sont affectés respectivement les ports 109 et 110 et fonctionnant à l'aide de commandes textuelles radicalement différentes.

Tout comme dans le cas du protocole SMTP, le protocole POP (POP2 et POP3) fonctionne grâce à des commandes textuelles envoyées au serveur POP. Chacune des commandes envoyées par le client (validée par la séquence CR/LF) est composée d'un mot-clé, éventuellement accompagné d'un ou plusieurs arguments et est suivie d'une réponse du serveur POP composée d'un numéro et d'un message descriptif.

Voici un récapitulatif des principales commandes POP2 :

Commandes POP2	
Commande	**Description**
HELLO	Identification à l'aide de l'adresse IP de l'ordinateur expéditeur.
FOLDER	Nom de la boîte à consulter.
READ	Numéro du message à lire.
RETRIEVE	Numéro du message à récupérer.

Commandes POP2	
Commande	**Description**
SAVE	Numéro du message à sauvegarder.
DELETE	Numéro du message à supprimer.
QUIT	Sortie du serveur POP2.

Voici un récapitulatif des principales commandes POP3 :

Commandes POP3	
Commande	**Description**
USER identifiant	Cette commande permet de s'authentifier. Elle doit être suivie du nom de l'utilisateur, c'est-à-dire une chaîne de caractères identifiant l'utilisateur sur le serveur. La commande USER doit précéder la commande PASS.
PASS mot_de_passe	La commande PASS, permet d'indiquer le mot de passe de l'utilisateur dont le nom a été spécifié lors d'une commande *USER* préalable.
STAT	Information sur les messages contenus sur le serveur.
RETR	Numéro du message à récupérer.
DELE	Numéro du message à supprimer.
LIST [msg]	Numéro du message à afficher.
NOOP	Permet de garder les connexions ouvertes en cas d'inactivité.
TOP <messageID> <n>	Commande affichant *n* lignes du message, dont le numéro est donné en argument. En cas de réponse positive du serveur, celui-ci renvoie les en-têtes du message, puis une ligne vierge et enfin les *n* premières lignes du message.
UIDL [msg]	Demande au serveur de renvoyer une ligne contenant des informations sur le message éventuellement donné en argument. Cette ligne contient une chaîne de caractères, appelée *listing d'identificateur unique*, permettant d'identifier de façon unique le message sur le serveur, indépendamment de la session. L'argument optionnel est un numéro correspondant à un message existant sur le serveur POP, c'est-à-dire un message non effacé.

Commandes POP3	
Commande	**Description**
`QUIT`	La commande `QUIT` demande la sortie du serveur POP3. Elle entraîne la suppression de tous les messages marqués comme effacés et renvoie l'état de cette action.

Le protocole POP3 gère ainsi l'authentification à l'aide d'un nom d'utilisateur et d'un mot de passe, il n'est par contre pas sécurisé car les mots de passe, au même titre que les mails, circulent en clair (de manière non chiffrée) sur le réseau. En réalité, selon la RFC 1939, il est possible de chiffrer le mot de passe en utilisant l'algorithme MD5 et ainsi bénéficier d'une authentification sécurisée. Toutefois, cette commande étant optionnelle, peu de serveurs l'implémentent D'autre part le protocole POP3 bloque la boîte aux lettres lors de la consultation, ce qui signifie qu'une consultation simultanée par deux utilisateurs d'une même boîte aux lettres est impossible.

Au même titre qu'il est possible d'envoyer un email grâce à Telnet, il est également possible d'accéder à son courrier entrant grâce à un simple Telnet sur le port du serveur POP (110 par défaut)[1] :

```
telnet mail.commentcamarche.net 110
```

Exemple

Exemple de transaction entre un client (`C`) et un serveur POP3 (`S`) :

```
S: +OK mail.commentcamarche.net POP3 service
S: (Netscape Messaging Server 4.15 Patch 6 (built Mar 31
2001))
C: USER jeff
S: +OK Name is a valid mailbox
C: PASS mon_pass
S: +OK Maildrop ready
C: STAT
S: +OK 2 0
C: TOP 1 5
S: Subject: Petit Bonjour
```

1. Le serveur indiqué est volontairement inexistant, vous pouvez essayer en remplaçant *commentcamarche.net* par le domaine de votre fournisseur d'accès à Internet.

```
S: Salut Meandus,
S: comment ca va?
S:
S: A bientot !
C: QUIT
S: +OK
```

Attention !

L'affichage des données que vous saisissez dépend du client Telnet que vous utilisez. Selon votre client Telnet, il vous faudra peut-être activer l'option **echo local**.

Protocole IMAP

Le **protocole IMAP** (*Internet Message Access Protocol*) est un protocole alternatif au protocole POP3 mais offrant beaucoup plus de possibilités :

- il permet de gérer plusieurs accès simultanés,
- il permet de gérer plusieurs boîtes aux lettres,
- il permet de trier le courrier selon plus de critères.

Pour en savoir plus

Reportez-vous à la RFC 821 expliquant de manière détaillée le protocole SMTP :
– RFC 821 traduite en français :
http://abcdrfc.free.fr/rfc-vf/rfc821.html
– RFC 821 originale :
http://www.ietf.org/rfc/rfc821.txt

Protocole DHCP

Le protocole DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*) permet à un ordinateur qui se connecte sur un réseau d'obtenir dynamiquement (c'est-à-dire sans intervention particulière) sa configura-

tion (principalement, sa configuration réseau) : adresse IP, masque de sous-réseau, adresse de la passerelle par défaut, des serveurs de noms DNS et des serveurs de noms NBNS (connus sous le nom de serveurs WINS sur les réseaux Windows).

La conception initiale d'IP supposait la préconfiguration de chaque ordinateur connecté au réseau avec les paramètres TCP/IP adéquats : c'est l'adressage statique. Sur de grands réseaux, l'adressage statique engendre une lourde charge de maintenance et des risques d'erreurs. En outre les adresses assignées ne peuvent être utilisées même si l'ordinateur qui la détient n'est pas en service. Cela posait de sérieux problèmes aux fournisseurs d'accès à internet (FAI ou ISP en anglais), possédant en général plus de clients que d'adresses IP à leur disposition, mais dont les clients ne sont jamais tous connectés en même temps.

DHCP apporte une solution à ces deux inconvénients :

- Seuls les ordinateurs en service utilisent une adresse de l'espace d'adressage.
- Toute modification des paramètres (adresse de la passerelle, des serveurs de noms) est répercutée sur les stations lors du redémarrage.
- La modification de ces paramètres est centralisée sur les serveurs DHCP.

Le protocole DHCP a été initialement conçu comme complément au protocole BOOTP (*Bootstrap Protocol*), employé lors de l'installation d'une machine *via* un réseau. BOOTP est utilisé en étroite collaboration avec un serveur TFTP sur lequel le client va trouver les fichiers à charger et à copier sur le disque dur. Un serveur DHCP peut renvoyer des paramètres BOOTP ou de configuration propres à un hôte donné.

Fonctionnement du protocole DHCP

Le mécanisme de base de la communication est BOOTP (avec trame UDP). La technique utilisée est la diffusion (*broadcast*) : pour trouver et dialoguer avec un serveur DHCP, la machine va simplement émettre un paquet spécial de broadcast (broadcast sur 255.255.255.255 avec d'autres informations comme le type de requête, les ports de connexion…) sur le réseau local. Lorsque le serveur DHCP recevra le paquet de broadcast, il renverra un autre

paquet de broadcast (n'oubliez pas que le client ne dispose pas forcément d'une adresse IP et n'est donc pas joignable directement) contenant toutes les informations requises pour le client. Le détail du processus est le suivant :

- L'ordinateur équipé de TCP/IP, mais dépourvu d'adresse IP, envoie par diffusion un datagramme (DHCP DISCOVER) qui s'adresse au port 67 de n'importe quel serveur à l'écoute sur ce port. Ce datagramme comporte entre autres l'adresse physique (MAC) du client.
- Tout serveur DHCP ayant reçu ce datagramme, s'il est en mesure de proposer une adresse sur le réseau auquel appartient le client, diffuse une offre DHCP (DHCP OFFER) à l'attention du client (sur son port 68), identifié par son adresse physique. Cette offre comporte l'adresse IP du serveur, ainsi que l'adresse IP et le masque de sous-réseau qu'il propose au client. Il se peut que plusieurs offres soient adressées au client.
- Le serveur DHCP choisi élabore un datagramme d'accusé de réception (DHCP ack pour *acknowledgement*) qui assigne au client l'adresse IP et son masque de sous-réseau, la durée du bail de cette adresse, deux valeurs T1 et T2 qui déterminent le comportement du client en fin de bail, et éventuellement d'autres paramètres :
  - adresse IP de la passerelle par défaut
  - adresses IP des serveurs DNS
  - adresses IP des serveurs NBNS (WINS)

D'autres paramètres et options peuvent être acceptés et gérés par un serveur DHCP. Pour plus d'informations, consultez la RFC 2132 : Options DHCP et Extensions fournisseur BOOTP, Chapitre RFC 1497 : Extensions fournisseur.

- Le client retient une des offres reçues (la première qui lui parvient), et diffuse sur le réseau un datagramme de requête DHCP (DHCP REQUEST). Ce datagramme comporte l'adresse IP du serveur et celle qui vient d'être proposée au client. Elle a pour effet de demander au serveur choisi l'assignation de cette adresse, l'envoi éventuel des valeurs des paramètres, et d'informer les autres serveurs qui ont fait une offre qu'elle n'a pas été retenue.

Les messages DHCP susceptibles d'être échangés ne se bornent pas à ceux cités plus haut. Le tableau suivant présente les différents messages DHCP possibles :

Message	But
DHCPDISCOVER	Localisation des serveurs DHCP disponibles
DHCPOFFER	Réponse du serveur à un paquet DHCPDISCOVER, renfermant les premiers paramètres
DHCPREQUEST	Requête diverse du client pour, par exemple, prolonger son bail
DHCPACK	Réponse du serveur, contenant des paramètres et l'adresse IP du client
DHCPNAK	Réponse du serveur pour signaler au client que son bail est échu ou si le client annonce une mauvaise configuration réseau
DHCPDECLINE	Le client annonce au serveur que l'adresse est déjà utilisée
DHCPRELEASE	Le client libère son adresse IP
DHCPINFORM	Le client demande des paramètres locaux : il possède déjà son adresse IP

Les serveurs DHCP doivent être pourvus d'une adresse IP statique.

DHCP et IPv4/IPv6

La plupart des systèmes d'exploitation disposent de clients DHCP v4. IPv6 n'est pris en charge que depuis Windows Vista, un serveur DHCPv6 étant disponible dans Windows Server depuis la version 2008. IPv6 est toutefois disponible sous XP en saisissant la commande **ipv6 install** dans une invite de commandes. Il existe plusieurs solutions pour pallier ce problème d'absence d'IPv6 notamment l'installation d'une solution libre.

Plusieurs clients et serveurs libres pour DHCP v4 et v6 sont disponibles pour les plates-formes BSD (FreeBSD/NetBSD/OpenBSD/Apple Mac OS X) ainsi que les plates-formes POSIX (Linux/« UNIX-like »).

Les baux

Les adresses IP dynamiques sont octroyées pour une durée limitée, qui est transmise au client dans l'accusé de réception qui clôture la transaction DHCP à l'aide deux valeurs T1 et T2.

La valeur T1 détermine la durée après laquelle le client commence à demander périodiquement le renouvellement de son bail auprès du serveur qui lui a accordé son adresse (couramment la moitié de la durée du bail). Cette fois la transaction est effectuée par transmission IP classique, d'adresse à adresse.

Si lorsque le délai fixé par la valeur T2 est écoulé alors que le bail n'a pas pu être renouvelé (par exemple si le serveur DHCP d'origine est hors service), le client demande une nouvelle allocation d'adresse par diffusion.

Si au terme du bail le client n'a pu ni en obtenir le renouvellement, ni obtenir une nouvelle allocation, l'adresse est désactivée et il perd la faculté d'utiliser le réseau TCP/IP de façon normale.

DHCP permet ainsi d'optimiser l'attribution des adresses IP en jouant sur la durée des baux. En effet, si aucune adresse n'est libérée au bout d'un certain temps, plus aucune requête DHCP ne peut être satisfaite, faute d'adresses à distribuer.

Configuration du serveur DHCP

Pour qu'un serveur DHCP puisse servir des adresses IP, il est nécessaire de lui donner un « réservoir » d'adresses dans lequel il pourra puiser : c'est la plage d'adresses (*address range*). Il est possible de définir plusieurs plages, disjointes ou contiguës.

Les adresses du segment qui ne figurent dans aucune plage mise à la disposition du serveur DHCP ne seront en aucun cas distribuées, et pourront faire l'objet d'affectations statiques (pour les serveurs nécessitant une adresse IP fixe, les routeurs, les imprimantes réseau...).

Il est également possible d'exclure pour un usage en adressage statique par exemple, des adresses ou blocs d'adresses compris dans une plage.

Enfin, on peut effectuer des réservations d'adresses en limitant la possibilité d'octroi de cette adresse au client possédant une

adresse physique (MAC) donnée. Ceci peut s'avérer utile pour des machines dont l'adresse doit rester fixe mais dont on veut contrôler de manière centrale et automatique les autres paramètres IP.

Configuration du cient DHCP

Pour configurer un ordinateur comme client DHCP, il faut cocher dans la boîte de dialogue Propriétés de protocole Internet (TCP/IP) des propriétés de la carte réseau concernée l'option Obtenir une adresse IP automatiquement. Nous reviendrons plus en détail sur cette configuration au Chapitre 10.

Internet

Internet est le réseau des réseaux ; il est constitué de plusieurs réseaux hétérogènes (de natures différentes) qui se sont connectés formant petit à petit le plus vaste des réseaux.

Sur ce réseau de nombreux **protocoles** (ou langages de communication) sont utilisés ; ils font partie d'une suite de protocoles qui s'appelle **TCP/IP** :

- IRC pour discuter en direct,
- HTTP pour consulter des pages web,
- FTP pour transférer des fichiers, etc.

À chaque protocole est assigné un numéro (le port), qui est transmis lors de la communication (la transmission est effectuée par petits paquets d'informations). Ainsi l'ordinateur est en mesure de savoir à quel programme correspond chaque petit paquet :

- les paquets HTTP arrivent sur le port 80 et sont transmis au navigateur à partir duquel la page a été appelée,
- les paquets FTP arrivent sur le port 21 et sont transmis à un client FTP.

World Wide Web

Le *World Wide Web* (www), également appelé **Web** ou **toile** est l'une des applications offertes par le réseau Internet. Elle permet de naviguer grâce à un logiciel (**navigateur,** *fureteur*; *butineur* ou *browser*) entre des documents (pages web) reliés par des liens hypertextes.

Une **page web** est ainsi un simple fichier texte écrit dans un langage de description (HTML), permettant de décrire la mise en pages du document et d'inclure des éléments graphiques ou bien des liens vers d'autres documents à l'aide de balises.

Au-delà des liens reliant des documents formatés, le Web prend tout son sens avec le protocole HTTP permettant de lier des documents hébergés par des ordinateurs distants (appelés **serveurs web**, par opposition au client que représente le navigateur). Sur Internet les documents sont ainsi repérés par une adresse unique, appelée **URL**, permettant de localiser une ressource sur n'importe quel serveur du réseau Internet.

À savoir

Le concept du Web a été mis au point au CERN (Centre européen de recherche nucléaire) en 1991 par une équipe de chercheurs à laquelle appartenaient Tim-Berners Lee, le créateur du concept d'hyperlien, considéré aujourd'hui comme le père fondateur du Web.

Connexion à Internet

La **carte réseau** est l'élément de l'ordinateur qui permet de se connecter à un réseau par des lignes spécialement prévues pour faire transiter des informations numériques.

Une carte réseau possède une **adresse IP** qui la caractérise (c'est comme ça que l'on peut distinguer les différents ordinateurs sur Internet...

La connexion par l'intermédiaire d'un modem ou d'un adaptateur câble est totalement différente. En effet, ceux-ci permettent d'établir une communication entre deux ordinateurs par l'intermédiaire d'un câble téléphonique ou d'une fibre optique. Vous pouvez toutefois avoir accès à un réseau (donc par extension à Internet) en contactant un ordinateur relié (d'un côté) à une ou plusieurs lignes téléphoniques ou fibres optiques (pour recevoir votre appel) et (de l'autre côté) à un réseau par l'intermédiaire d'une carte réseau. Cet ordinateur appartient généralement à votre fournis-

seur d'accès Internet (FAI). Lorsqu'il vous connecte par son intermédiaire, il vous prête une adresse IP que vous garderez le temps de la connexion. À chaque connexion de votre part il vous attribuera arbitrairement une des adresses IP libres qu'il possède, celle-ci n'est donc pas une adresse IP « fixe ».

Pour accéder à Internet, vous devez disposer d'un compte souscrit auprès d'un Fournisseur d'accès Internet (FAI) et d'un navigateur web, comme Internet Explorer ou Firefox.

Fournisseur d'accès à Internet

Les possibilités de choix sont innombrables, même si les offres paraissent similaires au point de rendre ce choix difficile. Faut-il retenir une offre complète, avec la téléphonie intégrée, voire la télévision, ou conserver son abonnement auprès de l'opérateur historique et ne souscrire qu'un simple accès ? C'est surtout affaire de choix personnel, et je ne puis procurer ici que quelques pistes de réflexion…

❑ Vitesse d'accès proposée

Le temps est loin des accès Internet par modem 28,8 Kbps ! De nos jours, le haut débit règne en maître, grâce aux technologies DSL (*Digital Suscriber Line* dont la plus connue en France est ADSL), fibre optique et depuis peu 4G. Les débits théoriques peuvent ainsi atteindre 100 Mbps, soit plus de trois mille fois plus qu'il y a une vingtaine d'années… En pratique, vous constaterez le plus souvent un débit bien plus faible : les offres des FAI se fondent sur les conditions théoriques optimales, et cette théorie est largement mise à mal par de nombreux facteurs, dont l'état des lignes, la distance entre votre matériel et celui de votre fournisseur d'accès et le nombre de connexions sur la même ligne.

Dans la plupart des cas, il est possible de tester les capacités de votre ligne – mais cela nécessite généralement soit de disposer d'un accès Internet (depuis un autre poste/emplacement), soit de contacter téléphoniquement un opérateur. Ne vous fondez donc pas uniquement sur les offres, mais tenez compte des possibilités et contraintes techniques posées par votre ligne téléphonique.

Figure 7.1 Le débit constaté est parfois loin du débit théorique annoncé…

À savoir

Dégroupé, pas dégroupé, qu'est-ce que c'est ?

Dans la plupart des offres des FAI, vous verrez apparaître le terme « dégroupage », parfois accompagné de l'adjectif partiel ou total. C'est un facteur que vous ne maîtrisez pas : il est strictement dépendant de votre lieu d'habitation et de l'état d'équipement des lignes et des centraux téléphoniques qui le desservent.

Le **dégroupage** est une opération technique permettant l'ouverture du réseau téléphonique local à la concurrence. Les opérateurs tiers ne disposent pas de la boucle locale (la partie de la ligne téléphonique qui va du répartiteur de l'opérateur téléphonique jusqu'à la prise téléphonique de l'abonné : autrement dit, tous les câbles visibles, jusqu'à la paire de fils arrivant chez l'usager). Le dégroupage permet aux opérateurs tiers d'accéder à cette boucle locale, soit en partie par le biais du dégroupage partiel, soit en totalité par le biais du dégroupage total.

En zone non dégroupée, il reste possible de s'affranchir de l'abonnement à l'opérateur historique, mais la bande passante est souvent limitée.

Avec le dégroupage partiel, l'utilisateur est toujours client de l'opérateur historique. Grâce à un filtre ADSL, toutes les données voix (basses fréquences) passent par le réseau de l'opérateur historique. Les données numériques (hautes fréquences) passent au-delà du central téléphonique par le matériel de l'opérateur tiers.

Dans le cas d'un dégroupage total, l'utilisateur n'est plus client et ne paie plus l'abonnement de l'opérateur historique. Sa ligne est directement reliée aux équipements de l'opérateur tiers qui assure l'entretien de la ligne, y compris la boucle locale.

❑ Offre complète ou accès simple

Cela dépend en partie du lieu concerné. À votre domicile, vous pourriez justement être tenté par une offre complète. Sur votre lieu de travail, la télévision est sans intérêt (en principe), mais le téléphone « gratuit » intégré peut être séduisant. Attention toutefois : la moindre panne ou le moindre incident compromet dans ce cas toute l'installation. Une simple coupure d'électricité vous prive même de téléphone, ce facteur devenant de moins en moins important suite au développement des téléphones portables (pourvu que ceux-ci ne soient pas déchargés).

❑ Service d'assistance

C'est sans doute le plus important. Passons rapidement sur le très amusant (ou énervant) « *En cas de problèmes Internet, consultez notre site web pour connaître l'état du réseau* » ou sur la nécessité de contacter par téléphone le service d'assistance alors justement que le téléphone ne fonctionne plus… À cet égard, il faut bien admettre que les propositions de l'opérateur historique, qui dispose de boutiques largement omniprésentes, avec du personnel en mesure (théoriquement) de répondre à vos questions, restent supérieures à celles d'autres opérateurs… y compris ceux qui mettent en avant un réseau de boutiques dont le personnel ne semble toutefois capable que de répéter « *Contactez téléphoniquement le service client* ».

❑ Les services des FAI

Un fournisseur d'accès Internet ne se borne pas à procurer l'accès : il est souvent en mesure de proposer de nombreux autres services, d'où le nom anglo-saxon de fournisseur de services Internet ou ISP (*Internet Service Provider*). J'ai déjà évoqué la téléphonie et la télévision, généralement facultatifs, mais deux autres services sont inclus à l'accès de base : il s'agit de l'hébergement de votre **compte de messagerie** (pour les messages électroniques ou courriels, déjà abordés) et l'hébergement d'un **site web personnel** – en pratique, un espace de stockage plus ou moins grand (mais souvent considérable).

Site web

Un **site web** (aussi appelé site Internet ou « page perso » dans le cas d'un site Internet à but personnel) est un ensemble de fichiers

HTML stockés sur un ordinateur (serveur web) connecté en permanence à Internet et hébergeant les pages web.

Un site web est habituellement architecturé autour d'une page centrale, appelée **page d'accueil**, proposant des liens vers un ensemble d'autres pages hébergées sur le même serveur, et parfois des liens dits « externes », c'est-à-dire vers des pages hébergées par un autre serveur.

URL

Une **URL** (*Uniform Resource Locator*)[1] est un format de nommage universel pour désigner une ressource sur Internet. Il s'agit d'une chaîne de caractères ASCII imprimables qui se décompose en cinq parties :

- **Nom du protocole** : c'est-à-dire en quelque sorte le langage utilisé pour communiquer sur le réseau. Le protocole le plus largement utilisé est le protocole HTTP (*HyperText Transfer Protocol*), le protocole permettant d'échanger des pages web au format HTML. De nombreux autres protocoles sont toutefois utilisables (FTP, News, Mailto, etc.)
- **Identifiant et mot de passe** : cela permet de spécifier les paramètres d'accès à un serveur sécurisé. Cette option est déconseillée car le mot de passe est visible dans l'URL.
- **Nom du serveur** : il s'agit d'un nom de domaine de l'ordinateur hébergeant la ressource demandée. Notez qu'il est possible d'utiliser l'adresse IP du serveur, ce qui rend par contre l'URL moins lisible.
- **Numéro de port** : il s'agit d'un numéro associé à un service permettant au serveur de savoir quel type de ressource est demandé. Le port associé par défaut au protocole est le port numéro 80. Ainsi, lorsque le service web du serveur est associé au numéro de port 80, le numéro de port est facultatif.
- **Chemin d'accès à la ressource** : cette dernière partie permet au serveur de connaître l'emplacement de la ressource, c'est-à-dire de manière générale l'emplacement (répertoire)

1.Le format des URL est défini par la RFC 1738 : http://www.ietf.org/rfc/rfc1738.txt

et le nom du fichier demandé. Une URL a donc la structure suivante :

Protocole	Mot de passe (facultatif)	Nom du serveur	Port (facultatif si 80)	Chemin
http://	user: password@	www.commentcamarche.net	:80	/glossair/glossair.php3

Les protocoles suivants peuvent par exemple être utilisés par l'intermédiaire de l'URL :

- HTTP, pour la consultation de pages web.
- FTP, pour la consultation de sites FTP.
- Telnet, pour la connexion un terminal distant.
- Mailto, pour l'envoi d'un courrier lectronique.

Le nom de fichier dans l'URL peut être suivi d'un point d'interrogation puis de données au format ASCII ; il s'agit de données supplémentaires envoyées en paramètre d'une application sur le serveur (un script CGI par exemple). L'URL ressemblera alors à une chaîne de caractères comme celle-ci :

```
http://www.commentcamarche.net/forum/index.php3?cat=1&page=2
```

Codage d'une URL

Une URL étant un moyen d'envoyer des informations à travers Internet (pour envoyer des données à un script CGI par exemple), il est nécessaire de pouvoir envoyer des **caractères spéciaux**, qu'elles ne ne peuvent pas contenir. De plus, certains caractères sont réservés car possédant une signification (le slash permet de spécifier un sous-répertoire, les caractères & et ? servent à l'envoi de données par formulaires...). Enfin les URL peuvent être incluses dans un document HTML, ce qui rend difficile l'insertion de caractères tels que < ou > dans l'URL.

C'est pourquoi un codage est nécessaire. Le codage consiste à remplacer les caractères spéciaux par le caractère % (devenant lui aussi un caractère spécial) suivi du code ASCII du caractère à coder en notation hexadécimale.

La liste des caractères nécessitant un codage particulier est présentée dans le tableau suivant.

Caractère	Codage	Caractère	Codage	Caractère	Codage
Tabulation	%09	.	%2E	\	%5C
Espace	%20	/	%2F	]	%5D
"	%22	:	%3A	^	%5E
#	%23	;	%3B	`	%60
%	%25	<	%3C	{	%7B
&	%26	=	%3D	|	%7C
(	%28	>	%3E	}	%7D
)	%29	?	%3F	~	%7E
+	%2B	@	%40		
,	%2C	[	%5B		

Courrier électronique

Le **courrier électronique** (**email, e-mail** ou **courriel**) est l'un des services les plus couramment utilisés sur Internet, permettant à un expéditeur d'envoyer un message à un ou plusieurs destinataires. Le courrier électronique a été inventé par Ray Tomlinson en 1972.

Le principe d'utilisation du courrier électronique est relativement simple, c'est ce qui en a rapidement fait le principal service utilisé sur Internet. À la manière du service postal classique, il suffit de connaître l'adresse de son expéditeur pour lui faire parvenir un message. Ses deux principaux avantages par rapport au « courrier papier » sont d'une part la rapidité de transmission du courrier (quasiment instantanée) et le coût réduit (coût global de la connexion à Internet). De plus, le courrier électronique permet d'envoyer instantanément un courrier à plusieurs personnes simultanément.

Adresse électronique

Les adresses électroniques dans le service de messagerie (émetteurs ou destinataires) sont des couples séparés par le caractère « @ » (arobase) :

utilisateur@domaine

La partie de droite décrit le nom de domaine concerné et la partie de gauche désigne l'utilisateur appartenant à ce domaine. À chaque domaine correspond un ou plusieurs serveurs de messagerie (enregistrement de type MX dans le système de noms de domaine).

Une adresse électronique possède une longueur maximale de 255 caractères et peut comporter les caractères suivants : lettres minuscules [a - z], chiffres et les caractères « . », « _ » et « - ».

Dans la pratique, une adresse électronique est souvent de la forme suivante :

prenom.nom@fournisseur.domaine

Fonctionnement

Le courrier électronique, aussi simple soit-il à utiliser, repose sur un fonctionnement plus compliqué que celui du Web. Pour la plupart des utilisateurs son fonctionnement est transparent, ce qui signifie qu'il n'est pas nécessaire de comprendre comment le courrier électronique fonctionne pour pouvoir l'utiliser.

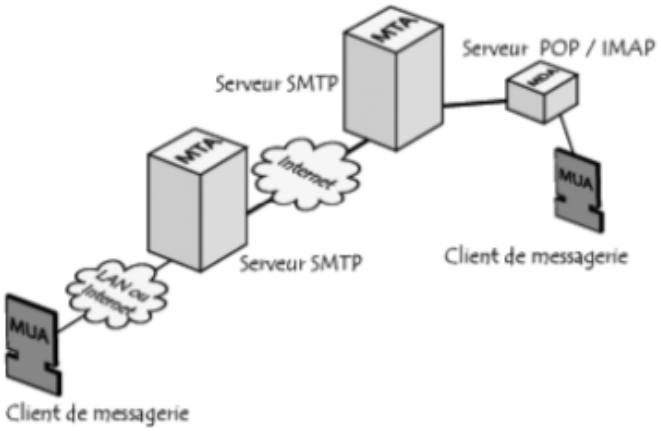
Néanmoins, la courte introduction qui suit permet d'en comprendre le principe et donne les moyens à un utilisateur de savoir comment configurer au mieux son client de messagerie ou de saisir les mécanismes fondamentaux du spam.

Le fonctionnement du courrier électronique est basé sur l'utilisation d'une boîte aux lettres électronique. Lors de l'envoi d'un email, le message est acheminé de serveur en serveur jusqu'au serveur de messagerie du destinataire. Plus exactement, le message est envoyé au serveur de courrier électronique chargé du transport, le **MTA** (*Mail Transport Agent*), jusqu'au MTA du destinataire. Sur Internet, les MTA communiquent entre eux grâce au protocole SMTP et sont logiquement appelés **serveurs SMTP** (parfois *serveur de courrier sortant*).

Le serveur MTA du destinataire délivre alors le courrier au serveur de courrier électronique entrant, le **MDA** (*Mail Delivery Agent*), qui stocke alors le courrier en attendant que l'utilisateur vienne le relever. Il existe deux principaux protocoles permettant de relever le courrier sur un MDA :

- le protocole POP3 (*Post Office Protocol*), le plus ancien, permettant de relever son courrier et éventuellement d'en laisser une copie sur le serveur.
- le protocole IMAP (*Internet Message Access Protocol*), permettant une synchronisation de l'état des courriers (lu, supprimé, déplacé) entre plusieurs clients de messagerie. Avec le protocole IMAP une copie de tous les messages est conservée sur le serveur afin de pouvoir assurer la synchronisation.

Ainsi, les serveurs de courrier entrant sont appelés **serveurs POP** ou **serveurs IMAP**, selon le protocole utilisé.



Par analogie avec le monde réel, les MTA font office de bureau de poste (centre de tri et facteur assurant le transport), tandis que les MDA font office de boîte à lettres, afin de stocker les messages (dans la limite de leur capacité en volume), jusqu'à ce que les destinataires relèvent leur boîte. Ceci signifie notamment qu'il n'est pas nécessaire que le destinataire soit connecté pour pouvoir lui envoyer du courrier.

Pour éviter que chacun puisse consulter le courrier des autres utilisateurs, l'accès au MDA est protégé par un nom d'utilisateur appelé **identifiant** (*login*) et par un **mot de passe** (*password*).

La relève du courrier se fait grâce à un logiciel appelé **MUA** (*Mail User Agent*). Lorsque le MUA est un logiciel installé sur le système de l'utilisateur, on parle de **client de messagerie** (par exemple *Mozilla Thunderbird*, *Microsoft Outlook*, *Eudora Mail*, *Incredimail* ou

Lotus Notes). Lorsqu'il s'agit d'une interface web permettant de s'interfacer au serveur de courrier entrant, on parle alors de **webmail**.

Relais ouverts

Par défaut et pour des raisons historiques, il n'est pas nécessaire de s'authentifier pour envoyer du courrier électronique, ce qui signifie qu'il est très facile d'envoyer du courrier en falsifiant l'adresse électronique de l'expéditeur.

Ainsi, la quasi-totalité des fournisseurs d'accès verrouille leurs serveurs SMTP afin de n'en permettre l'utilisation qu'à leurs seuls abonnés ou plus exactement aux machines possédant une adresse IP appartenant au domaine du fournisseur d'accès. Ceci explique notamment la nécessité qu'ont les utilisateurs nomades de modifier les paramètres du serveur sortant dans leur client de messagerie à chaque changement entre le domicile et l'entreprise.

Lorsque le serveur de messagerie d'une organisation est mal configuré et permet à des tiers appartenant à des réseaux quelconques d'envoyer des courriers électroniques, on parle alors de **relais ouvert** (*open relay*). Les relais ouverts sont ainsi généralement utilisés par les spammeurs, car leur utilisation permet de masquer l'origine des messages. Par conséquent, de nombreux fournisseurs d'accès tiennent à jour une liste noire contenant une liste des relais ouverts, afin d'interdire la réception de messages provenant de tels serveurs.

Équipements

Présentation

Un **réseau local** (RLE ou **LAN**, *Local Area Network*), est un réseau permettant d'interconnecter les ordinateurs d'une entreprise ou d'une organisation ou d'un domicile. Grâce à ce concept, datant de 1970, il est possible entre les utilisateurs du réseau d'échanger des informations, de communiquer et d'avoir accès à des services divers.

Un réseau local relie généralement des ordinateurs (ou des ressources telles que des imprimantes) à l'aide de supports de transmission filaires (paires torsadées ou câbles coaxiaux la plupart du temps) ou par transmission sans fil sur une circonférence d'une centaine de mètres. Au-delà, on considère que le réseau fait partie d'une autre catégorie de réseau appelé **MAN** (*Metropolitan Area Network*), plus adapté aux grandes distances…

Constituants matériels d'un réseau local

Un réseau local est constitué d'ordinateurs reliés par un ensemble d'éléments matériels et logiciels. Les éléments matériels permettant d'interconnecter les ordinateurs sont les suivants :

- **La carte réseau** (parfois appelée *coupleur*) : il s'agit d'une carte connectée sur la carte-mère de l'ordinateur et permettant de l'interfacer au support physique, c'est-à-dire aux lignes physiques permettant de transmettre l'information ou d'envoyer un signal sans fil.

- **Le transceiver** (appelé aussi *adapteur*) : il permet d'assurer la transformation des signaux circulant sur le support physique, en signaux logiques manipulables par la carte réseau, aussi bien à l'émission qu'à la réception.
- **La prise** : il s'agit de l'élément permettant de réaliser la jonction mécanique entre la carte réseau et le support physique (uniquement pour les réseaux filaires).
- **Le support physique d'interconnexion** : c'est le support (généralement filaire, c'est-à-dire sous forme de câble) permettant de relier les ordinateurs entre eux. Les principaux supports physiques utilisés dans les réseaux locaux sont les suivants : le câble coaxial, la paire torsadée et la fibre optique.

Topologies logiques des réseaux locaux

Les dispositifs matériels mis en œuvre ne sont pas suffisants à l'utilisation du réseau local. En effet, il est nécessaire de définir une méthode d'accès standard entre les ordinateurs, afin que ceux-ci sachent de quelle manière les ordinateurs échangent les informations, notamment dans le cas où plus de deux ordinateurs se partagent le support physique. Cette méthode d'accès est appelée **topologie logique**.

La topologie logique est réalisée par un protocole d'accès. Les protocoles d'accès les plus utilisés sont Ethernet et Token Ring.

Équipements d'interconnexion

Un réseau local sert à **interconnecter les ordinateurs** d'une organisation, toutefois une organisation comporte généralement plusieurs réseaux locaux, il est donc parfois indispensable de les relier entre eux. Lorsqu'il s'agit de deux réseaux de même type, il suffit de faire passer les trames de l'un sur l'autre. Dans le cas contraire, c'est-à-dire lorsque les deux réseaux utilisent des **protocoles différents**, il est indispensable de procéder à une conversion de protocole avant de transférer les trames.

Ainsi, les équipements à mettre en œuvre sont différents selon la configuration face à laquelle on se trouve. Néanmoins, on retrouve toujours :

- Les **répéteurs** qui permettent de régénérer un signal.
- Les **concentrateurs** (*hubs*) qui permettent de connecter entre eux plusieurs hôtes.

- Les **ponts** (*bridges*) qui permettent de relier des réseaux locaux de même type.
- Les **commutateurs** (*switches*) qui permettent de relier divers éléments tout en segmentant le réseau.
- Les **passerelles** (*gateways*) qui permettent de relier des réseaux locaux de types différents.
- Les **routeurs** qui permettent de relier de nombreux réseaux locaux de telles façons à permettre la circulation de données d'un réseau à un autre de la façon optimale.
- Les **B-routeurs** qui associent les fonctionnalités d'un routeur et d'un pont.
- Le modem, qui permet la relation avec Internet. De nos jours, les "boxes" des fournisseurs d'accès cumulent les fonctions de modem, de routeur et souvent de point d'accès WiFi.

Certains autres matériels sont spécifiques aux réseaux sans fils :

- **Les points d'accès** (notés AP pour *Access point*, parfois appelés bornes sans fils) permettant de donner un accès au réseau filaire (auquel il est raccordé) aux différentes stations avoisinantes équipées de cartes wifi. Dans la plupart des cas, votre point d'accès sera un modem-routeur.
- Les **antennes**. Elles sont généralement intégrées, mais certains routeurs et certaines cartes permettent d'adapter une antenne de votre choix à la place de l'antenne par défaut.
- Les **amplificateurs**, placés entre un équipement et son antenne, pour amplifier le signal.

Répéteur

Sur une ligne de transmission, le signal subit des distorsions et un affaiblissement proportionnel à la distance entre deux éléments actifs. Généralement, deux nœuds d'un réseau local ne peuvent pas être distants de plus de quelques centaines de mètres : un équipement supplémentaire est nécessaire au-delà de cette distance.

Un **répéteur** (*repeater*) est un équipement simple permettant de regénérer un signal entre deux nœuds du réseau, afin d'étendre la

distance de câblage d'un réseau. Le répéteur travaille uniquement au niveau physique (couche 1 du modèle OSI), c'est-à-dire qu'il ne travaille qu'au niveau des informations binaires circulant sur la ligne de transmission et qu'il n'est pas capable d'interpréter les paquets d'informations.

De plus, un répéteur peut permettre de constituer une interface entre deux supports physiques de types différents, c'est-à-dire qu'il peut par exemple permettre de relier un segment de paire torsadée à un brin de fibre optique.

Concentrateur

Un **concentrateur** (*hub*) est un élément matériel permettant de concentrer le trafic réseau provenant de plusieurs hôtes, et de régénérer le signal. Le concentrateur est ainsi une entité possédant un certain nombre de ports (il possède autant de ports qu'il peut connecter de machines entre elles, généralement 4, 8, 16 ou 32). Son unique but est de récupérer les données binaires parvenant sur un port et de les diffuser sur l'ensemble des ports. Tout comme le répéteur, le concentrateur opère au niveau 1 du modèle OSI, c'est la raison pour laquelle il est parfois appelé **répéteur multiports**. Le concentrateur permet ainsi de connecter plusieurs machines entre elles, parfois disposées en étoile, ce qui lui vaut le nom de **hub** (*moyeu de roue* en anglais ; la traduction française exacte est *répartiteur*), pour illustrer le fait qu'il s'agit du point de passage des communications des différentes machines.

Connexion de plusieurs concentrateurs

Il est possible de connecter plusieurs hubs entre eux afin de concentrer un plus grand nombre de machines, on parle alors de **connexions en cascade** (*daisy chains*). Pour ce faire, il suffit de connecter les hubs à l'aide d'un câble croisé, c'est-à-dire un câble reliant les connecteurs de réception d'une extrémité aux connecteurs de réception de l'autre. Il est possible de chaîner jusqu'à trois concentrateurs.

Les concentrateurs sont en général dotés d'un port spécial appelé *uplink* permettant d'utiliser un câble droit pour connecter deux hubs entre eux. Il existe également des hubs capables de croiser

ou de décroiser automatiquement leurs ports selon qu'ils sont reliés à un hôte ou à un hub.

À savoir

Si vous souhaitez connecter plusieurs machines à votre connexion Internet, un hub n'est pas suffisant. Il est nécessaire de recourir à un routeur ou à un commutateur ou bien laisser utilisé l'ordinateur relié directement à la connexion en tant que passerelle (il restera donc constamment allumé lorsque les autres ordinateurs du réseau souhaiteront accéder à Internet).

Pont

Les **ponts** (*bridges*) sont des dispositifs matériels permettant de relier des réseaux travaillant avec le même protocole. Ainsi, contrairement au répéteur, qui travaille au niveau physique, le pont travaille également au niveau logique (au niveau de la couche 2 du modèle OSI), c'est-à-dire qu'il est capable de filtrer les trames en ne laissant passer que celles dont l'adresse correspond à une machine située à l'opposé du pont. Ainsi le pont permet de segmenter un réseau en conservant au niveau du réseau local les trames destinées au niveau local et en transmettant les trames destinées aux autres réseaux. Cela permet de réduire le trafic (notamment les collisions) sur chacun des réseaux et d'augmenter le niveau de confidentialité car les informations destinées à un réseau ne peuvent pas être écoutées sur l'autre brin. En contrepartie l'opération de filtrage réalisée par le pont peut conduire à un léger ralentissement lors du passage d'un réseau à l'autre, c'est la raison pour laquelle les ponts doivent être judicieusement placés dans un réseau.

À savoir

Un pont sert habituellement à faire transiter des paquets entre deux réseaux de même type.

Principe

Un pont possède deux connexions à deux réseaux distincts. Lorsque le pont reçoit une trame sur l'une de ses interfaces, il analyse l'adresse MAC du destinataire et de l'émetteur. Si jamais le pont ne connaît pas l'émetteur, il stocke son adresse dans une table afin de se « souvenir » de quel côté du réseau se trouve l'émetteur. Ainsi le pont est capable de savoir si émetteur et destinataire sont situés du même côté ou bien de part et d'autre du pont. Dans le premier cas le pont ignore le message, dans le second le pont transmet la trame sur l'autre réseau.

Fonctionnement

Un pont fonctionne selon la couche Liaison de données du modèle OSI, c'est-à-dire qu'il opère au niveau des adresses physiques des machines. En réalité le pont est relié à plusieurs réseaux locaux, appelés **segments**. Il élabore une table de correspondance entre les adresses des machines et le segment auquel elles appartiennent et « écoute » les données circulant sur les segments.

Lors d'une transmission de données, le pont vérifie sur la table de correspondance le segment auquel appartiennent les ordinateurs émetteurs et récepteurs grâce à leur adresse MAC (adresse physique) et non leur adresse IP. Si ceux-ci appartiennent au même segment, le pont ne fait rien, dans le cas contraire il va faire basculer les données vers le segment auquel appartient le destinataire.

Le pont permet de **segmenter** un réseau, c'est-à-dire que, dans le cas présenté, les communications entre les trois ordinateurs représentés en haut n'encombrent pas les lignes du réseau entre les trois ordinateurs du bas, l'information passera uniquement lorsqu'un ordinateur d'un côté du pont enverra des données à un ordinateur situé de l'autre côté.

D'autre part ces ponts peuvent être reliés à un modem, afin d'assurer la continuité d'un réseau local à distance.

Commutateur

Le **commutateur** (*switch*) est un pont multiports, c'est-à-dire qu'il s'agit d'un élément actif agissant au niveau 2 du modèle OSI.

Le commutateur analyse les trames arrivant sur ses ports d'entrée et filtre les données afin de les aiguiller uniquement sur les ports adéquats (on parle de **commutation** ou de **réseaux commutés**). Si bien que le commutateur permet d'allier les propriétés du pont en matière de filtrage et du concentrateur en matière de connectivité.

Dans la plupart des réseaux filaires récents, les commutateurs ont totalement remplacé les ponts et répartiteurs autonomes.

Passerelle applicative

Les **passerelles applicatives** (*gateways*) sont des systèmes matériels et logiciels permettant de faire la liaison entre deux réseaux, servant notamment à faire l'interface entre des protocoles différents.

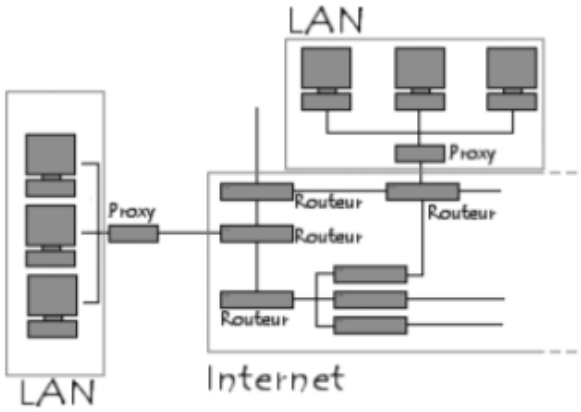
Lorsqu'un utilisateur distant contacte un tel dispositif, celui-ci examine sa requête, et si jamais celle-ci correspond aux règles que l'administrateur réseau a définies, la passerelle crée un pont entre les deux réseaux. Les informations ne sont donc pas directement transmises, mais « traduites » afin d'assurer la continuité des deux protocoles.

Ce système offre, outre l'interface entre deux réseaux hétérogènes, une sécurité supplémentaire car chaque information est passée à la loupe (pouvant causer un ralentissement) et parfois ajoutée dans un journal qui retrace l'historique des événements. L'inconvénient majeur de ce système est qu'une telle application doit être disponible pour chaque service (FTP, HTTP, Telnet, etc.).

Routeur

Les **routeurs** sont les machines clés d'Internet car ce sont ces dispositifs qui permettent de « choisir » le chemin qu'un message

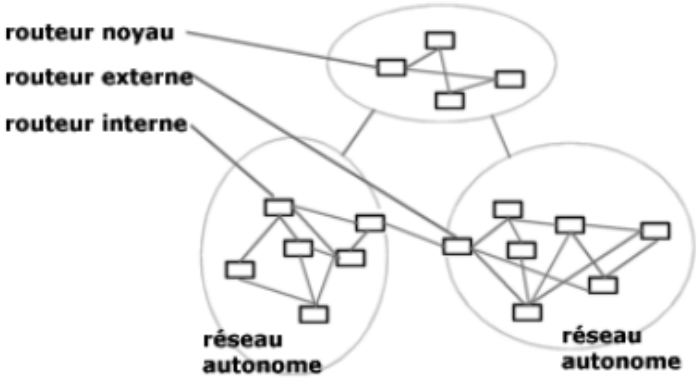
va emprunter. Lorsque vous demandez une URL, le client web interroge le DNS, celui-ci indique l'adresse IP de la machine visée. Votre poste de travail envoie la requête au routeur le plus proche (en général la passerelle du réseau) qui choisit la prochaine machine à laquelle il va faire circuler la demande de telle façon que le chemin choisi soit le plus court.



De plus, les routeurs permettent de manipuler les données (qui circulent sous forme de datagrammes) afin de pouvoir assurer le passage d'un type de réseau à un autre (contrairement à un dispositif de type pont). Ainsi, les réseaux ne peuvent pas faire circuler la même quantité simultanée d'information en terme de taille de paquets de données. Les routeurs ont donc la possibilité de fragmenter les paquets de données pour permettre leur circulation. Enfin, certains routeurs sont capables de créer des cartes (tables de routage) des itinéraires à suivre en fonction de l'adresse visée grâce à des protocoles dédiés à cette tâche.

Types de routeurs

Les premiers routeurs étaient de simples ordinateurs ayant plusieurs cartes réseau (machines multi-hôtes), dont chacune était reliée à un réseau différent. Les routeurs actuels sont pour la plupart des matériels dédiés à la tâche de **routage**.



Tous les routeurs ne font pas le même travail selon le type de réseau sur lequel ils se trouvent. En effet, il y a différents niveaux de routeurs, ceux-ci fonctionnent donc avec des protocoles différents :

- Les **routeurs noyaux** : ce sont les routeurs principaux car ce sont eux qui relient les différents réseaux.
- Les **routeurs externes** : ils permettent une liaison des réseaux autonomes entre eux. Ils fonctionnent avec un protocole appelé EGP (*Exterior Gateway Protocol*).
- Les **routeurs internes** : ils permettent le routage des informations à l'intérieur d'un réseau autonome. Ils s'échangent des informations grâce à des protocoles appelés IGP (*Interior Gateway Protocol*), tels que RIP et OSP

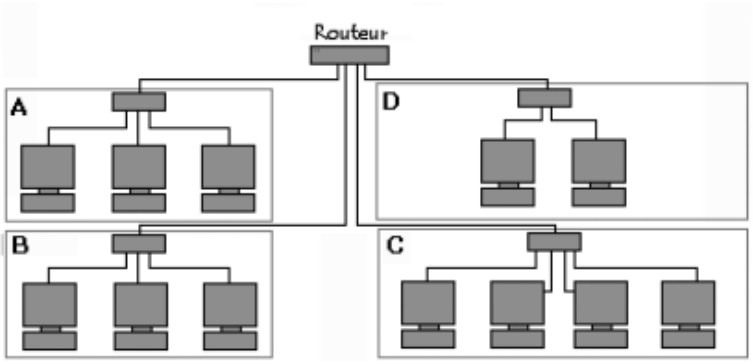
Types de routages

On distingue généralement deux types d'algorithme de routage :

- Les routeurs de type **vecteur de distance** (*distance vector*) établissent une table de routage recensant en calculant le « coût » (en terme de nombre de sauts) de chacune des routes puis transmettent cette table aux routeurs voisins. À chaque demande de connexion le routeur choisit la route la « moins coûteuse ».
- Les routeurs de type **link state** (*link state routing*) écoutent le réseau en continu afin de recenser les différents éléments qui l'entourent. À partir de ces informations chaque routeur

calcule le plus court chemin (en temps) vers les routeurs voisins et diffuse cette information sous forme de *paquets de mise à jour*. Chaque routeur construit enfin sa table de routage en calculant les plus courts chemins vers tous les autres routeurs (à l'aide de l'algorithme de *Dijkstra*).

Exemple



Dans le cas présenté le scénario est simple. Si le routeur reçoit des paquets en provenance du réseau A, pour le réseau B, il va tout simplement diriger les paquets sur le réseau B…

Toutefois, sur Internet le schéma est beaucoup plus compliqué pour les raisons suivantes :

– Le nombre de réseaux auxquels un routeur est connecté est généralement important ;

– Les réseaux auxquels le routeur est connecté peuvent être reliés à d'autres réseaux que le routeur ne connaît pas directement.

Les routeurs fonctionnent donc grâce à des tables et des protocoles de routage.

B-routeur

Un **B-routeur** (*b-routeur*, *bridge-routeur*) est un élément hybride associant les fonctionnalités d'un routeur et celles d'un pont. Ainsi,

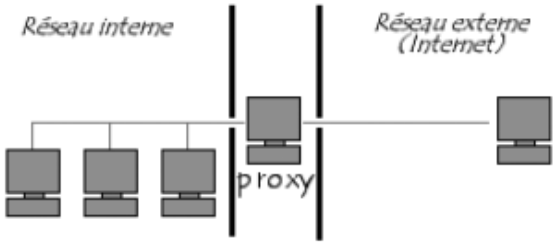
ce type de matériel permet de transférer d'un réseau à un autre les protocoles non routables et de router les autres. Plus exactement, le B-routeur agit en priorité comme un pont et route les paquets si cela n'est pas possible.

Un B-routeur peut donc dans certaines architectures être plus économique et plus compact qu'un routeur et un pont.

Proxy

Un serveur **proxy** (*serveur mandataire* ou *proxy server*) est à l'origine une machine faisant fonction d'intermédiaire entre les ordinateurs d'un réseau local (utilisant parfois des protocoles autres que le protocole TCP/IP) et Internet.

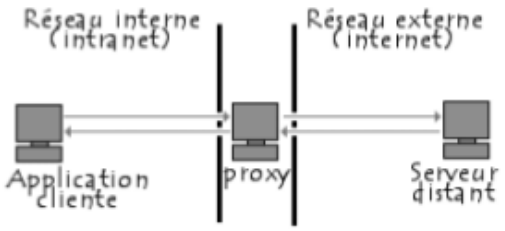
La plupart du temps le serveur proxy est utilisé pour le Web, il s'agit alors d'un proxy HTTP. Toutefois il peut exister des serveurs proxy pour chaque protocole applicatif (FTP, etc.).



Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement basique d'un serveur proxy est assez simple : il s'agit d'un serveur « mandaté » par une application pour effectuer une requête sur Internet à sa place. Ainsi, lorsqu'un utilisateur se connecte à Internet à l'aide d'une application cliente configurée pour utiliser un serveur proxy, celle-ci va se connecter en premier lieu au serveur proxy et lui donner sa requête. Le serveur proxy va alors se connecter au serveur que l'application cliente cherche à joindre et lui transmettre la requête.

Le serveur va ensuite donner sa réponse au proxy, qui va à son tour la transmettre à l'application cliente.



Attention !

Désormais, avec l'utilisation de TCP/IP au sein des réseaux locaux, le rôle de relais du serveur proxy est directement assuré par les passerelles et les routeurs. Pour autant, les serveurs proxy sont toujours d'actualité grâce à un certain nombre d'autres fonctionnalités.

Proxy-cache

La plupart des proxys assurent ainsi une fonction de **cache** (*caching*), c'est-à-dire la capacité à garder en mémoire (*en cache*) les pages le plus souvent visitées par les utilisateurs du réseau local afin de pouvoir les leur fournir le plus rapidement possible. En effet, en informatique, le terme de « cache » désigne un espace de stockage temporaire de données (le terme de « tampon » est également parfois utilisé).

Un serveur proxy ayant la possibilité de cacher (néologisme signifiant « mettre en mémoire cache ») les informations est généralement appelé **serveur proxy-cache**.

Cette fonctionnalité implémentée dans certains serveurs proxy permet d'une part de réduire l'utilisation de la bande passante vers Internet ainsi que de réduire le temps d'accès aux documents pour les utilisateurs.

Toutefois, pour mener à bien cette mission, il est nécessaire que le proxy compare régulièrement les données qu'il stocke en mémoire

cache avec les données distantes afin de s'assurer que les données en cache sont toujours valides.

Filtrage

D'autre part, grâce à l'utilisation d'un proxy, il est possible d'assurer un suivi des connexions (*logging* ou *tracking*) *via* la constitution de journaux d'activité (*logs*) en enregistrant systématiquement les requêtes des utilisateurs lors de leurs demandes de connexion à Internet.

Il est ainsi possible de filtrer les connexions à Internet en analysant d'une part les requêtes des clients, d'autre part les réponses des serveurs. Lorsque le filtrage est réalisé en comparant la requête du client à une liste de requêtes autorisées, on parle de **liste blanche** (*white list*), lorsqu'il s'agit d'une liste de sites interdits on parle de **liste noire** (*black list*). Enfin l'analyse des réponses des serveurs conformément à une liste de critères (mots-clés…) est appelée **filtrage de contenu**.

Authentification

Le proxy étant l'intermédiaire indispensable des utilisateurs du réseau interne pour accéder à des ressources externes, il est parfois possible de l'utiliser pour authentifier les utilisateurs, c'est-à-dire de leur demander de s'identifier à l'aide d'un nom d'utilisateur et d'un mot de passe par exemple. Il est ainsi aisé de donner l'accès aux ressources externes aux seules personnes autorisées à le faire et de pouvoir enregistrer dans les fichiers journaux des accès identifiés.

Ce type de mécanisme lorsqu'il est mis en œuvre pose bien évidemment de nombreux problèmes relatifs aux libertés individuelles et aux droits des personnes…

Reverse-proxy

On appelle **reverse-proxy** (en français le terme de *relais inverse* est parfois employé) un serveur proxy-cache « monté à l'envers », c'est-à-dire un serveur proxy permettant non pas aux utilisateurs d'accéder au réseau Internet, mais aux utilisateurs d'Internet d'accéder indirectement à certains serveurs internes.

Le reverse-proxy sert ainsi de relais pour les utilisateurs d'Internet souhaitant accéder à un site web interne en lui transmettant indirectement les requêtes.

Grâce au reverse-proxy, le serveur web est protégé des attaques directes de l'extérieur, ce qui renforce la sécurité du réseau interne.

D'autre part, la fonction de cache du reverse-proxy peut permettre de soulager la charge du serveur pour lequel il est prévu, c'est la raison pour laquelle un tel serveur est parfois appelé **accélérateur** (*server accelerator*).

Enfin, grâce à des algorithmes perfectionnés, le reverse-proxy peut servir à répartir la charge en redirigeant les requêtes vers différents serveurs équivalents ; on parle alors de **répartition de charge** ou *load balancing*.

Réseaux sans fil

Un **réseau sans fil** (*wireless network*) est, comme son nom l'indique, un réseau dans lequel au moins deux terminaux peuvent communiquer sans liaison filaire. Grâce aux réseaux sans fil, un utilisateur a la possibilité de rester connecté tout en se déplaçant dans un périmètre géographique plus ou moins étendu, c'est la raison pour laquelle on entend parfois parler de **mobilité**.

Attention !

Malgré l'utilisation de « sans fils », communément admise, les orthographes exactes sont « sans fil » et « sans-fil » On parle ainsi de « réseau sans fil » ou bien « du sans-fil ».

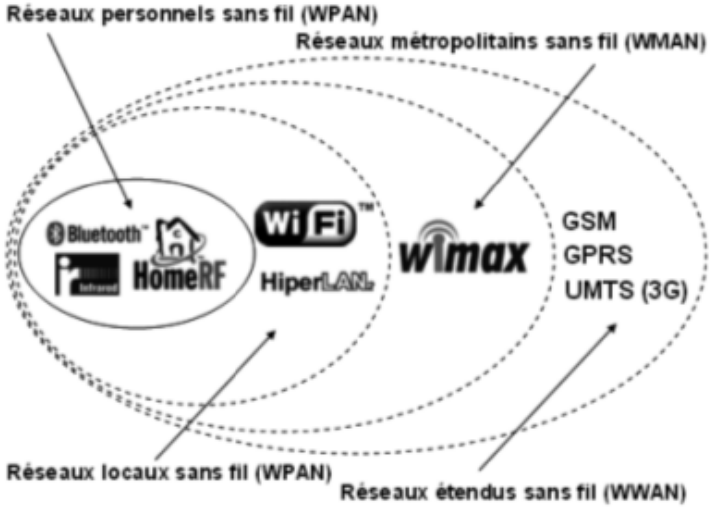
Les réseaux sans fil sont fondés sur une liaison utilisant des **ondes radioélectriques** (radio et infrarouges) en lieu et place des câbles habituels. Ils permettent de relier très facilement des équipements distants d'une dizaine de mètres à quelques kilomètres. Ces réseaux, sensibles aux interférences, sont soumis à une réglementation qui définit les plages de fréquence et les puissances d'émissions autorisées pour chaque catégorie d'utilisation.

Il existe plusieurs technologies se distinguant par la fréquence d'émission utilisée ainsi que par le débit et la portée des transmissions.

Pour en savoir plus
Vous trouverez plus d'informations sur les réseau sans fil dans Tout sur les réseaux sans fil, de Fabrice Lemainque, dans la même collection.

Catégories de réseaux sans fil

On distingue habituellement plusieurs **catégories de réseaux sans fil**, selon le périmètre géographique offrant une connectivité (appelée **zone de couverture**) :



Réseaux personnels sans fil (WPAN)

Le **réseau personnel sans fil** (appelé également *réseau individuel sans fil* ou *réseau domestique sans fil* et noté **WPAN**, *Wireless Personal Area Network*) concerne les réseaux sans fil d'une faible portée : de l'ordre de quelques dizaines mètres. Ce type de réseau sert généralement à relier des périphériques (imprimante, télé-

phone portable, appareils domestiques...) ou un assistant personnel (PDA) à un ordinateur sans liaison filaire ou bien à permettre la liaison sans fil entre deux machines très peu distantes. Il existe plusieurs technologies utilisées pour les WPAN.

La principale technologie WPAN est la technologie **Bluetooth**, lancée par Ericsson en 1994, proposant un débit théorique de 1 Mbps pour une portée maximale d'une trentaine de mètres. Bluetooth, connue aussi sous le nom **IEEE 802.15.1**, possède l'avantage d'être très peu gourmande en énergie, ce qui la rend particulièrement adaptée à une utilisation au sein de petits périphériques.

HomeRF (*Home Radio Frequency*), lancée en 1998 par le HomeRF Working Group (formé notamment par les constructeurs Compaq, HP, Intel, Siemens, Motorola et Microsoft) propose un débit théorique de 10 Mbps avec une portée d'environ 50 à 100 mètres sans amplificateur. La norme HomeRF soutenue notamment par Intel, a été abandonnée en janvier 2003, car les fondeurs de processeurs misent désormais sur les technologies WiFi embarquées (*via* la technologie *Centrino*, embarquant au sein d'un même composant un microprocesseur et un adaptateur WiFi).

La technologie **ZigBee,** aussi connue sous le nom **IEEE 802.15.4**, permet d'obtenir des liaisons sans fil à très bas prix et avec une très faible consommation d'énergie, ce qui la rend particulièrement adaptée pour être directement intégrée dans de petits appareils électroniques (appareils électroménagers, HiFi, jouets...). La technologie ZigBee, opérant sur la bande de fréquences des 2,4 GHz et sur 16 canaux, permet d'obtenir des débits pouvant atteindre 250 kb/s avec une portée maximale de 100 mètres environ.

Enfin les liaisons **infrarouges** permettent de créer des liaisons sans fil de quelques mètres avec des débits pouvant monter à quelques mégabits par seconde. Cette technologie est largement utilisée pour la **domotique** (télécommandes) mais souffre toutefois des perturbations dues aux interférences lumineuses. L'association irDA (*infrared Data Association*) formée en 1995 regroupe plus de 150 membres.

Réseaux locaux sans fil (WLAN)

Le **réseau local sans fil** (**WLAN,** *Wireless Local Area Network*) est un réseau permettant de couvrir l'équivalent d'un réseau local d'entreprise, soit une portée d'environ une centaine de mètres. Il permet de relier entre eux les terminaux présents dans la zone de couverture. Il existe plusieurs technologies concurrentes :

- Le Wifi (ou IEEE 802.11), soutenu par l'alliance WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*) offre des débits allant jusqu'à 54 Mbps sur une distance de plusieurs centaines de mètres. La marque déposée « Wi-Fi » correspond initialement au nom donné à la certification délivrée par la WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*). Par abus de langage, et pour des raisons de marketing, le nom de la norme (WiFi) se confond aujourd'hui avec le nom de la certification (Wi-Fi). Un réseau WiFi est simplement un réseau répondant à la norme 802.11.

- **hiperLAN2** (*high performance radio LAN 2.0*), norme européenne élaborée par l'ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*). HiperLAN 2 permet d'obtenir un débit théorique de 54 Mbps sur une zone d'une centaine de mètres dans la gamme de fréquence comprise entre 5 150 et 5 300 MHz.

Réseaux métropolitains sans fil (WMAN)

Le **réseau métropolitain sans fil** (**WMAN,** *Wireless Metropolitan Area Network*) est connu sous le nom de **Boucle locale radio** (BLR). Les WMAN sont basés sur la norme IEEE 802.16. La boucle locale radio offre un débit utile de 1 à 10 Mbit/s pour une portée de 4 à 10 kilomètres, ce qui destine principalement cette technologie aux opérateurs de télécommunications.

La norme de réseau métropolitain sans fil la plus connue est le WiMAX, permettant d'obtenir des débits de l'ordre de 70 Mbit/s sur un rayon de plusieurs kilomètres.

Réseaux étendus sans fil (WWAN)

Le **réseau étendu sans fil** (**WWAN,** *Wireless Wide Area Network*) est également connu sous le nom de **réseau cellulaire mobile**. Il s'agit des réseaux sans fil les plus répandus puisque tous les téléphones mobiles sont connectés à un réseau étendu sans fil.

De nos jours, un téléphone mobile est bien plus qu'un téléphone : il est devenu en outre très rapidement un lecteur MP3, un appareil photo et un GPS, et plus récemment un lecteur vidéo et un point d'accès à Internet, grâce à des débits multipliés par mille. Parallèlement, tout ordinateur, portable ou fixe peut désormais être relié à ces réseaux à l'aide d'une clé USB 3G ou 4G ou d'une carte SIM interne, devenant ainsi réellement indépendant de toute connexion Internet fixe et ouvrant la voie à un tout nouveau type de nomadisme. Il était donc nécessaire d'examiner plus en détail l'historique de la téléphonie mobile et de ses standards : une histoire brève, puisque longue de seulement 26 ans en France au moment de la rédaction de ce livre, mais néanmoins riche en événements.

❑ Les différentes générations de téléphonie mobile

Les différentes familles de réseaux de téléphonie mobiles ont été classées en génération et dénommées par le chiffre de celle-ci suivi d'un G, signifiant génération. La toute première génération, nommée 0G, existe techniquement : elle était constituée en réalité d'appareils trop imposants et gourmands en énergie pour être placés ailleurs que dans des véhicules.

1G

La première vraie génération de téléphonie mobile était de type analogique, employant des appareils encore très volumineux. Seule la voix pouvait être transmise. Les premiers téléphones mobiles, de marque Motorola, étaient disponibles à partir de 1983. Le nombre d'abonnés passera de 60 000 à partir de 1984 à 460 000 en 1994.

2G

Le terme 2G consacre le passage de l'analogique au numérique. Cette génération autorise outre le transfert de la voix celui de données numériques de faible volume, comme les messages textes (SMS, *Short Message Service*) ou multimédias (MMS, *Multimedia Message Service*). Créé en 1982, le GSM (*Groupe Spécial Mobile*) aboutira dès 1987 à la norme portant le même acronyme GSM, mais signifiant désormais *Global System for Mobile communications*. Ce standard est employé en Europe sur les bandes de fréquences 900 MHz et 1800 MHz et aux États-Unis sur la bande 1900 MHz. De ce fait, les téléphones portables capables de fonctionner tant en Europe qu'aux États-Unis étaient nommés « tribande ». Le débit maximal GSM est de 9,6 kbps : celui d'un télécopieur. Cette génération, apparue dès 1991, a connu son essor en France dans les années 1995.

Afin d'améliorer le débit du standard GSM sont apparus successivement GPRS (*General Packet Radio System*), avec un débit théorique proche de 114 kbps mais en réalité voisin de 40 kbps, généralement nommé 2.5G, puis la norme EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*), nommée 2.75G, apparue en pratique en 2005, un an après l'UTMS 3G (voir plus loin), mais intéressante en l'absence de présence de réseau 3G. Elle propose un débit théorique de 384 kbps (un débit bridé pour répondre aux spécifications IMT-2000 [*International Mobile Telecommunications-2000*]), plus proche en réalité de 171 kbps, et donne accès aux applications multimédias.

Ces protocoles ont recours à des procédés de multiplexage temporel ou en fréquence. Chaque utilisateur se voit allouer soit une bande de fréquence pour toute la durée de sa conversation, soit toute la bande de fréquence pour une courte durée régulièrement renouvelée.

3G

La troisième génération de téléphonie mobile, 3G, est essentiellement en Europe UTMS (*Universal Mobile Telecommunications System*). Avec un débit sérieusement amélioré allant de 384 kbps à 2 Mbps, et exploitant de nouvelles bandes de fréquence (1885 à 2025 MHz et 2110 à 2200 MHz), elle autorise désormais l'accès Internet, le visionnage de vidéos, d'émissions de télévision et la visiophonie. D'une certaine façon, le 3G est à la téléphonie mobile ce qu'a été ADSL pour les accès Internet vis-à-vis des anciennes liaisons RTC (réseau téléphonique commuté). Apparue en 2001 au Japon, cette technologie s'est développée en Europe à partir de 2003, notamment grâce au célèbrissime Nokia 1100, le téléphone portable le plus vendu au monde. Elle reste compatible avec les réseaux de seconde génération.

La 3G exploite un procédé de multiplexage nommé W-CDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*), selon lequel les données en provenance de plusieurs utilisateurs transitent dans les deux sens sur un seul canal. Le WiMax, examiné précédemment, répond aux spécifications 3G, concrétisant ainsi le rapprochement entre réseau téléphonique et réseau informatique.

La technologie HSDPA (*High-Speed Downlink Packet Access*), ou 3.5G, permet d'atteindre des débits de l'ordre de 8 à 10 Mbps. Elle utilise la bande des 5 GHz.

4G

L'étape suivante concerne l'apparition du standard LTE (*Long Term Evolution*). Les normes LTE et WiMAX ont d'abord été considérées comme des normes de troisième génération (« 3,9G »), spécifiées dans le cadre des technologies IMT-2000. Cependant, en décembre 2010, l'UIT a accordé aux normes LTE et WiMAX la possibilité commerciale d'être considérées comme des technologies « 4G », du fait d'une amélioration sensible des performances comparées à celles des premiers systèmes « 3G ». Depuis lors, les réseaux mobiles WiMAX et LTE lancés partout dans le monde sont commercialisés sous l'appellation « 4G ». L'état français a concédé sur enchères en 2011 des licences pour les fréquences LTE (gamme des 800 MHz et des 2,6 GHz) pour un montant de quelques 3,5 milliards d'euros. Si les quatre « grands » (Orange, Bouyghes, SFR et Free) se sont partagé la bande des 2,6 GHz, Free n'a pas enchéri pour la bande des 800 GHz, jugeant les prix

trop élevés et fonctionnera en « louant » une partie de l'attribution SFR.

❑ Après la 4G...

L'organisme de normalisation IUT-R a établi les spécifications IMT-Advanced (*International Mobile Telecommunications Advanced*). La norme LTE-Advanced fait partie des technologies réseau retenues pour IMT-Advanced, avec d'ailleurs le Gigabit WiMAX. Les matériels exploitant cette technologie disposent d'un « très haut débit mobile », avoisinant théoriquement 100 Mbps et susceptible d'atteindre à terme 50 Gbps.

La mise en place effective de ces réseaux risque d'être retardée pour plusieurs raisons : les importants investissements effectués pour les réseaux 3G ne sont pas encore amortis, la crise financière qui pousse les entreprises à décaler leurs investissements non vitaux, et une visibilité qui reste faible pour ce successeur théorique d'un réseau LTE 4G lui-même en cours d'implantation dans la plupart des pays.

ÉVOLUTION DES STANDARDS DE TÉLÉPHONIE MOBILE

Génération	Acronyme	Description	Intitulé	Débit indicatif (download) en bits/s (théorique / pratique / usuel)
1G	Radiocom 2000		Radiocom 2000 (analogique) de France Télécom, SFR 2000 (analogique) de SFR	analogique
2G	GSM	Échanges de type voix uniquement	Global System for Mobile Communication	9,05 kbps
2.5G	GPRS	Échange de données sauf voix	Global Packet Radio Service	171,2 kbps / 50 kbps / 17,9 kbps
2.75G	EDGE	Évolution du GPRS	Enhanced Data Rate for GSM Évolution	384 kbps / 64 kbps / -

Génération	Acronyme	Description	Intitulé	Débit indicatif (download) en bits/s (théorique / pratique / usuel)
3G	UMTS	Voix + données	Universal Mobile Telecommunications System	144 kbps rurale, 384 kbps urbaine, 1,9 Mbps point fixe / -
3.5G ou 3G+	HSPA	Évolution de l'UMTS	High Speed Packet Access (HSDPA / HSUPA)	14,4 Mbps / 7,2 Mbps / 3,6 Mbps
3.75G ou 3G++ ou H+	HSPA+	Évolution de l'UMTS	High Speed Packet Access +	21 Mbps / 10 Mbps / 5 Mbps
3.75G ou H+ Dual Carrier	DC-HSPA+	Évolution de l'UMTS	Dual-Cell High Speed Packet Access +	42 Mbps / 20 Mbps / 10 Mbps
4G (3.9G)	LTE	Données	Long Term Evolution	300 Mbps / 60 Mbps / 30 Mbps
4G / 4G+	LTE-Advanced	Données + voix (VoLTE)	Long Term Evolution Advanced	1 Gbps à l'arrêt, > 100 Mbps en mouvement / - / -
4,5G	LTE - A	Données + voix (VoLTE)	Long Term Evolution Advanced Type A	10 Gbps à l'arrêt / - / -
5G	LTE - B		Long Term Evolution Advanced Type B / IMT-2020	50 Gbps à l'arrêt / - / -

❑ Fonctionnement d'un réseau cellulaire

Comme l'indique son nom, un tel réseau possède une structure « cellulaire » qui permet de réutiliser de nombreuses fois les mêmes fréquences. Un émetteur déterminé ne pouvant offrir que 500 canaux, avec parfois plusieurs milliers d'utilisateurs potentiels, la solution consiste en un système comportant un grand nombre d'émetteurs à courte portée. Chaque émetteur ne couvre qu'un domaine bien délimité appelé « cellule », d'où les termes de téléphone cellulaire et de réseau cellulaire. La portée moyenne est de 1 km. Ainsi, les téléphones reçoivent les ondes d'une station de base (BTS, *Base Transceiver Station*) et lui répondent pour faire savoir s'ils souhaitent en dépendre. Si celui-ci accepte, il retient le numéro d'identité de l'appareil, lui réserve un canal et reprend le

contact si un appel pour ce téléphone lui parvient ou si le téléphone en effectue un. Pour éviter les conflits (lorsqu'un utilisateur se situe à la frontière entre deux zones de portée), chaque émetteur est réglé sur une fraction de la bande totale des fréquences. Cela crée un « damier hexagonal » de cellules, employant chacun une bande de fréquence différente de celle des cellules voisines. En réalité toutefois, les zones se recoupent plus ou moins, leur portée variant avec les conditions météorologiques, le nombre d'utilisateurs, etc. De la même façon, en raison du relief mais aussi d'autres facteurs, il peut subsister au sein d'une cellule des « zones blanches » où toute liaison est impossible. Les opérateurs cherchent à supprimer ces zones blanches, soit en divisant les cellules, soit à l'aide d'amplificateurs ou de répéteurs judicieusement placés.

Lorsqu'un matériel (MS) décide de changer de cellule, il informe le VLR (*Visitor Location Register*) dont dépend la nouvelle cellule. En cas de changement de MSC (*Mobile service Switching Center*), le HLR (*Home Location Register*) est contacté et celui-ci contacte le précédent MSC. L'utilisateur s'identifie soit avec un IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*) ou un TMSI (*Temporary Mobile Subscriber Identity*), désormais préféré pour des raisons de sécurité.

L'augmentation du nombre d'utilisateurs d'une zone donnée est obtenue soit par réduction de la taille des cellules, soit par recours aux différentes techniques de multiplexage déjà examinées. Avec le multiplexage temporel, ou multiplexage par paquets, les données sont numérisées puis compressées et envoyées par « paquets » toutes les 10 à 20 millisecondes avec le 3G, mais toutes les 2 millisecondes avec la 3,5G. Cela permet d'imbriquer de plus en plus d'émissions par canal, et donc d'autoriser un nombre croissant d'utilisateurs connectés par émetteur.

Propagation des ondes radio

Il est nécessaire d'avoir une culture minimum sur la **propagation des ondes** hertziennes afin de pouvoir mettre en place une architecture réseau sans fil, et notamment de disposer les bornes d'accès (point d'accès) de telle façon à obtenir une portée optimale.

Les **ondes radio** (RF, *Radio Frequency*) se propagent en ligne droite dans plusieurs directions. La vitesse de propagation des ondes dans le vide est de $3 \cdot 10^8$ m/s. Dans tout autre milieu, le signal subit un affaiblissement dû à l'absorption, la réflexion, la réfraction et à la diffraction.

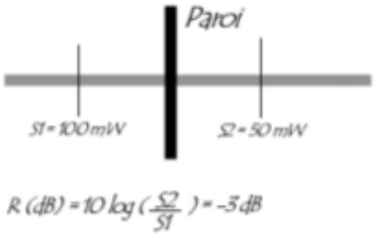
Absorption des ondes radio

Lorsqu'une onde radio rencontre un obstacle, une partie de son énergie est absorbée et transformée en énergie, une partie continue à se propager de façon atténuée et une partie peut éventuellement être réfléchie.

On appelle **atténuation** d'un signal la réduction de la puissance de celui-ci lors d'une transmission. L'atténuation est mesurée en **bels** (B) et est égale au logarithme en base 10 de la puissance à la sortie du support de transmission, divisée par la puissance à l'entrée. On préfère généralement utiliser le **décibel** (dB) correspondant à un dixième de la valeur en bels. Ainsi un bel représentant 10 décibels la formule devient :

$$R\,(\text{dB}) = (10) * \log (P2/P1)$$

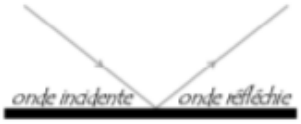
Si *R* est positif on parle d'**amplification**, s'il est négatif on parle d'**atténuation**. Dans le cas des transmissions sans fil il s'agit plus particulièrement d'atténuations.



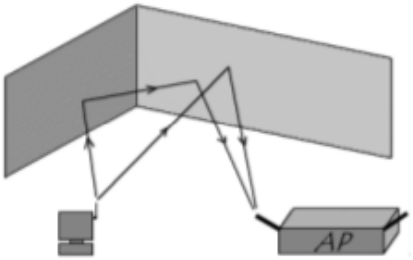
L'atténuation augmente avec l'augmentation de la fréquence ou de la distance. De plus lors de la collision avec un obstacle, la valeur de l'atténuation dépend fortement du matériau composant l'obstacle. Généralement les obstacles métalliques provoquent une forte réflexion, tandis que l'eau absorbe le signal.

Réflexion des ondes radio

À la rencontre d'un obstacle, tout ou partie de l'onde est réfléchie avec une perte de puissance. La **réflexion** est telle que l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion.



Par définition une onde radio est susceptible de se propager dans plusieurs directions. Par réflexions successives un signal source peut être amené à atteindre une station ou un point d'accès en empruntant des chemins multiples, on parle de **multipath** ou **cheminements multiples**.



La différence de temps de propagation (appelée **délai de propagation**) entre deux signaux ayant emprunté des chemins différents peut provoquer des interférences au niveau du récepteur car les données reçues se chevauchent.

Ces interférences deviennent de plus en plus importantes lorsque la vitesse de transmission augmente car les intervalles de temps entre les données sont de plus en plus courts. Les chemins de propagations multiples limitent ainsi la vitesse de transmission dans les réseaux sans fil.

Pour remédier à ce problème certaines cartes WiFi et points d'accès WiFi disposent de deux antennes. Grâce au **AGC** (*Aquisition Gain Controller*), qui commute immédiatement d'une antenne à l'autre suivant la puissance des signaux, le point d'accès est capable de distinguer deux signaux provenant de la même station.

Les signaux reçus par ces deux antennes sont dits **décorrélés** (indépendants) s'ils sont séparés de *lambda/2* (6,25 cm à 2,4 GHz).

Propriétés des milieux

L'affaiblissement de la puissance du signal est en grande partie dû aux **propriétés des milieux** traversés par l'onde. Voici un tableau donnant les niveaux d'atténuation pour différents matériaux :

Matériaux	Affaiblissement	Exemples
Air	Aucun	Espace ouvert, cour intérieure
Bois	Faible (1 à 2 dBm, 10 à 20%)	Porte, plancher, cloison
Plastique	Faible (1 à 2 dBm, 10 à 20%)	Cloison
Verre	Faible (3 dBm, 30%)	Vitres non teintées
Verre teinté	Moyen (5 à 8 dBm, 50 %)	Vitres teintées
Eau	Moyen (5 à 8 dBm, 50 %)	Aquarium, fontaine
Etres vivants	Moyen (5 à 8 dBm, 50 %)	Foule, animaux, humains, végétation
Briques	Moyen (5 à 8 dBm, 50 %)	Mur moyen
Plâtre	Moyen (5 à 8 dBm, 50 %)	Cloisons en placoplâtre (la perte peut être plus élevée près des structures métalliques sous-jacentes)
Céramique	Élevé (8 à 10 dBm, 70 %)	Carrelage
Papier	Élevé (8 à 10 dBm, 70 %)	Rouleaux de papier, livres.
Béton	Élevé (15 à 20 dBm, 85 %)	Mur porteur, plancher et plafond, piliers
Verre blindé	Élevé (15 à 20 dBm, 85 %)	Vitres pare-balles, fenêtres à revêtement métallisé
Métal	Très élevé (20 à 25 dBm, 90%)	Béton armé, miroir, armoire métallique, cage d'ascenseur

En pratique, toute réduction de la force du signal se traduit d'abord par une réduction de la vitesse de transmission, jusqu'à l'interruption de la connexion lorsque le force du signal est inférieure à la sensibilité de la carte réceptrice.

Bluetooth

Bluetooth est une technologie de réseau personnel sans fil (noté **WPAN,** *Wireless Personal Area Network*), c'est-à-dire une technologie de réseaux sans fil d'une faible portée permettant de relier des appareils entre eux sans liaison filaire. Contrairement à la technologie IrDa (liaison infrarouge), les appareils Bluetooth n'ont pas besoin d'une ligne de vue directe pour communiquer, ce qui les rend plus souples d'utilisation et permet notamment une communication d'une pièce à une autre, sur de petits espaces.

L'objectif de Bluetooth est de permettre de transmettre des données ou de la voix entre des équipements possédant un circuit radio de faible coût, sur un rayon de l'ordre d'une dizaine de mètres à un peu moins d'une centaine de mètres et avec une faible consommation électrique.

Ainsi, la technologie Bluetooth est principalement prévue pour relier entre eux des périphériques (imprimantes, téléphones portables, appareils domestiques, oreillettes sans fil, souris, clavier, etc.), des ordinateurs ou des assistants personnels (PDA), sans utiliser de liaison filaire. La technologie Bluetooth est également de plus en plus utilisée dans les téléphones portables, afin de leur permettre de communiquer avec des ordinateurs ou des assistants personnels et surtout avec des dispositifs main libre tels que des oreillettes Bluetooth[1].

La technologie Bluetooth a été originairement mise au point par Ericsson en 1994. En février 1998 un groupe d'intérêt baptisé **Bluetooth SIG** (*Bluetooth Special Interest Group*), réunissant plus de 2 000 entreprises dont Agere, Ericsson, IBM, Intel, Microsoft, Motorola, Nokia et Toshiba, a été formé afin de produire les spécifications Bluetooth 1.0, qui furent publiées en juillet 1999.

1. Les oreillettes Bluetooth permettent de faire office de casque audio perfectionné intégrant des fonctionnalités de commande à distance.

Caractéristiques

Le Bluetooth permet d'obtenir des débits de l'ordre de 1 Mbps, correspondant à 1 600 échanges par seconde en full-duplex, avec une portée d'une dizaine de mètres environ avec un émetteur de classe II et d'un peu moins d'une centaine de mètres avec un émetteur de classe I.

À savoir

Le nom **Bluetooth** (dent bleue) se rapporte au nom du roi danois Harald II (910-986), surnommé Harald II Blåtand (« à la dent bleue »), à qui on attribue l'unification de la Suède et de la Norvège ainsi que l'introduction du christianisme dans les pays scandinaves.

Le **standard Bluetooth** définit en effet trois classes d'émetteurs proposant des portées différentes en fonction de leur puissance d'émission :

Classe	Puissance (affaiblissement)	Portée
I	100 mW (20 dBm)	100 mètres
II	2,5 mW (4 dBm)	15-20 mètres
III	1 mW (0 dBm)	10 mètres

Contrairement à la technologie IrDA, principale technologie concurrente utilisant des rayons lumineux pour les transmissions de données, la technologie Bluetooth utilise les ondes radio (bande de fréquence des 2,4 GHz) pour communiquer, si bien que les périphériques ne doivent pas nécessairement être en liaison visuelle pour communiquer. Ainsi deux périphériques peuvent communiquer en étant situés de part et d'autre d'une cloison et, cerise sur le gâteau, les périphériques Bluetooth sont capables de se détecter sans intervention de la part de l'utilisateur pour peu qu'ils soient à portée l'un de l'autre.

Normes Bluetooth

Le standard Bluetooth se décompose en différentes **normes** :

- **IEEE 802.15.1** définit le standard Bluetooth 1.x permettant d'obtenir un débit de 1 Mbit/sec ;
- **IEEE 802.15.2** propose des recommandations pour l'utilisation de la bande de fréquence 2,4 GHz (fréquence utilisée également par le WiFi). Ce standard n'est toutefois pas encore validé ;
- **IEEE 802.15.3** est un standard en cours de développement visant à proposer du haut débit (20 Mbit/s) avec la technologie Bluetooth ;
- **IEEE 802.15.4** est un standard en cours de développement pour des applications Bluetooth à bas débit.

Pour en savoir plus
Reportez-vous au site officiel de Bluetooth : www.bluetooth.org

Fonctionnement

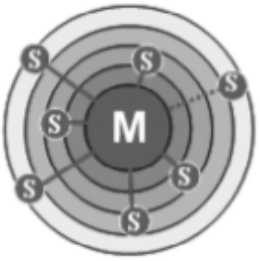
Le standard Bluetooth, à la manière du WiFi utilise la technique **FHSS** (*Frequency Hopping Spread Spectrum*, en français *étalement de spectre par saut de fréquence* ou *étalement de spectre par évasion de fréquence*), consistant à découper la bande de fréquence (2,402 – 2,480 GHz) en 79 canaux (appelés **hops** ou **sauts**) d'une largeur de 1 MHz, puis de transmettre en utilisant une combinaison de canaux connue des stations de la cellule.

Ainsi, en changeant de canal jusqu'à 1 600 fois par seconde, le standard Bluetooth permet d'éviter les interférences avec les signaux d'autres modules radio.

Principe de communication

Le standard Bluetooth est basé sur un mode de fonctionnement maître/esclave. Ainsi, on appelle **picoréseau** (*piconet*) le réseau formé par un périphérique et tous les périphériques présents dans son rayon de portée. Il peut coexister jusqu'à 10 picoréseaux dans une même zone de couverture. Un maître peut être connecté simultanément à un maximum de sept périphériques esclaves actifs (255 en mode *parked*). En effet, les périphériques d'un picoréseau

possèdent une adresse logique de 3 bits, ce qui permet un maximum de huit appareils. Les appareils dits en mode *parked* sont synchronisés mais ne possèdent pas d'adresse physique dans le picoréseau.



En réalité, à un instant donné, le périphérique maître ne peut se connecter qu'à un seul esclave à la fois. Il commute donc très rapidement d'un esclave à un autre afin de donner l'illusion d'une connexion simultanée à l'ensemble des périphériques esclaves.

Le standard Bluetooth prévoit la possibilité de relier deux *piconets* entre eux afin de former un réseau élargi, appelé **réseau chaîné** (*scatternet*), grâce à certains périphériques faisant office de pont entre les deux piconets.

Établissement des connexions

L'**établissement d'une connexion** entre deux périphériques Bluetooth suit une procédure relativement compliquée permettant d'assurer un certain niveau de sécurité, selon le processus suivant :

- Mode passif.
- Phase d'inquisition : découverte des points d'accès.
- Synchronisation avec le point d'accès (*paging*).
- Découverte des services du point d'accès.
- Création d'un canal avec le point d'accès.
- Pairage à l'aide d'un code PIN (sécurité).
- Utilisation du réseau.

En utilisation normale un périphérique fonctionne en **mode passif**, c'est-à-dire qu'il est à l'écoute du réseau.

L'établissement de la connexion commence par une phase appelée **phase d'inquisition** (*inquiry*), pendant laquelle le périphérique maître envoie une requête d'inquisition à tous les périphériques présents dans la zone de portée, appelés **points d'accès**. Tous les périphériques recevant la requête répondent avec leur adresse.

Le périphérique maître choisit une adresse et se synchronise avec le point d'accès selon une technique, appelée **paging**, consistant notamment à synchroniser son horloge et sa fréquence avec le point d'accès. Un lien s'établit ensuite avec le point d'accès, permettant au périphérique maître d'entamer une phase de **découverte des services** du point d'accès, selon un protocole appelé **SDP** (*Service Discovery Protocol*).

À l'issue de cette phase de découverte de services, le périphérique maître est en mesure de créer un **canal de communication** avec le point d'accès en utilisant le protocole **L2CAP**.

Selon les besoins du service, un canal supplémentaire, appelé **RFCOMM**, fonctionnant au-dessus du canal L2CAP pourra être établi afin de fournir un port série virtuel. En effet certaines applications sont prévues pour se connecter à un port standard, indépendant de tout matériel. C'est le cas par exemple de certaines applications de navigation routière prévues pour se connecter à n'importe quel dispositif GPS[1] Bluetooth.

Il se peut que le point d'accès intègre un mécanisme de sécurité, appelé **pairage** (*pairing*), permettant de restreindre l'accès aux seuls utilisateurs autorisés afin de garantir un certain niveau d'étanchéité du picoréseau. Le pairage se fait à l'aide d'une clé de chiffrement communément appelée **code PIN** (PIN, *Personal Information Number*). Le point d'accès envoie ainsi une requête de pairage au périphérique maître. Ceci peut la plupart du temps déclencher une intervention de l'utilisateur pour saisir le code PIN du point d'accès. Si le code PIN reçu est correct, l'association a lieu. En mode sécurisé, le code PIN sera transmis chiffré à l'aide d'une seconde clé, afin d'éviter tout risque de compromission.

Lorsque le pairage est effectif, le périphérique maître est libre d'utiliser le canal de communication ainsi établi !

1. GPS (*Global Positionning System*) : système de géolocalisation par satellite, permettant de connaître les coordonnées terrestres d'un appareil mobile ou d'un véhicule.

WiMAX

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) est un standard de réseau sans fil métropolitain créé par les sociétés Intel et Alvarion en 2002 et ratifié par l'IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineer*) sous le nom **IEEE-802.16**. Plus exactement, WiMAX est le label commercial délivré par le **WiMAX Forum** aux équipements conformes à la norme IEEE 802.16, afin de garantir un haut niveau d'interopérabilité entre ces différents équipements. Les équipements certifiés par le WiMAX Forum peuvent ainsi arborer le logo suivant :

Caractéristiques

L'objectif du WiMAX est de fournir une connexion Internet à haut débit sur une zone de couverture de plusieurs kilomètres de rayon. Ainsi, dans la théorie, le WiMAX permet d'obtenir des débits montants et descendants de 70 Mbit/s avec une portée de 50 kilomètres. Le **standard WiMAX** possède l'avantage de permettre une connexion sans fil entre une station de base (BTS, *Base Transceiver Station*) et des milliers d'abonnés sans nécessiter de ligne visuelle directe (LOS, *Line Of Sight,* ou NLOS, *Non Line Of Sight*). Dans la réalité le WiMAX ne permet de franchir que de petits obstacles tels que des arbres ou une maison mais ne peut en aucun cas traverser les collines ou les immeubles. Le débit réel lors de la présence d'obstacles ne pourra ainsi excéder 20 Mbit/s.

Fonctionnement

Le cœur de la technologie WiMAX est la **station de base** (BTS, *Base Transceiver Station*), c'est-à-dire l'antenne centrale chargée de communiquer avec les **antennes d'abonnés** (*subscribers*

antennas). On parle ainsi de **liaison point-multipoints** pour désigner le mode de communication du WiMAX.

WiMAX fixe et WiMAX mobile

Les révisions du standard IEEE 802.16 se déclinent en deux catégories :

- **WiMAX fixe**, également appelé **IEEE 802.16-2004**, qui est prévu pour un usage fixe avec une antenne montée sur un toit, à la manière d'une antenne TV. Le WiMAX fixe opère dans les bandes de fréquence 2,5 GHz et 3,5 GHz, pour lesquelles une licence d'exploitation est nécessaire, ainsi que dans la bande libre des 5,8 GHz.
- **WiMAX mobile** (*WiMAX portable*), également baptisé **IEEE 802.16e**, prévoit la possibilité de connecter des clients mobiles au réseau Internet. Le WiMAX mobile ouvre ainsi la voie à la téléphonie mobile sur IP ou plus largement à des services mobiles haut débit.

WiMax a obtenu la certification 3G, et se situe donc en concurrence des technologies de téléphonie mobile de la même génération. Toutefois, « mobile » n'est pas ici synonyme de portabilité ou d'itinérance (*roaming*), mais d'utilisation lors d'un déplacement à haute vitesse (train, voiture, etc.) : avec les technologies classiques, les changements fréquents de cellule entraînent une nette détérioration des communications, chose qu'est censée pallier le WiMax.

En pratique, le WiMAX n'a pas su s'imposer face à la 3G ou au satellite, dont les installations nécessitent moins d'investissement. Le constat fait par l'ARCEP sur la couverture WiMAX des différentes régions de France montre que le nombre de sites installés est loin de remplir les obligations fixées lors de l'accord des licences.

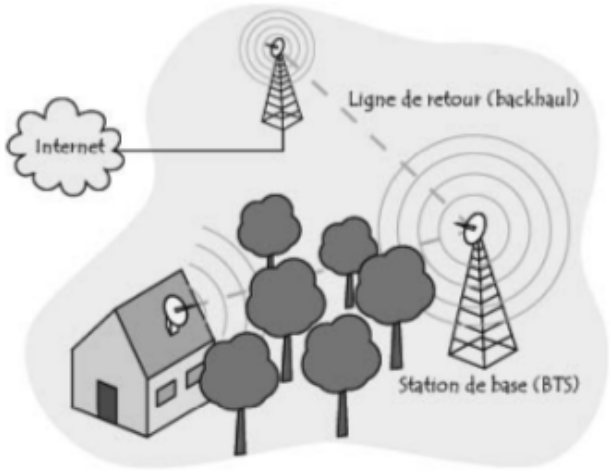
La situation pourrait changer : parmi les travaux du groupe IMT Advanced, sur la quatrième génération de téléphonie mobile (4G) figure le WirelessMAN-Advanced, à la base de la technologie WiMAX. C'est ainsi que le protocole 802.16m (également nommé WiMAX 2 ou Gigabit WiMAX) vient d'être approuvé par l'IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) en octobre 2010. Ce protocole doit permettre la transmission de données par liaison sans fil fixe ou nomade stationnaire jusqu'à un débit de 1 Gbps et

100 Mbps par liaison sans fil mobile à grande vitesse. Son but est d'autoriser la convergence des technologies WiMAX, WiFi et 4G afin de réaliser des réseaux maillés, recourant pour ce faire à la technologie MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) pour augmenter la bande passante.

Applications du WiMAX

Un des usages possibles du WiMAX consiste à couvrir la zone dite du « dernier kilomètre » (*last mile*), encore appelée **Boucle locale radio** (BLR), c'est-à-dire fournir un accès à Internet haut débit aux zones non couvertes par les technologies filaires classiques (lignes xDSL telles que l'ADSL, câble ou encore les lignes spécialisées T1, etc.).

Une autre possibilité d'utilisation consiste à utiliser le WiMAX comme **réseau de collecte** (*backhaul*) entre des réseaux locaux sans fil, utilisant par exemple le standard WiFi. Ainsi, le WiMAX permettra à terme de relier entre eux différents *hotspots* (zone d'accès) afin de créer un **réseau maillé**.



Le standard WiMAX intègre nativement la notion de **qualité de service** (souvent notée **QoS**, *Quality of Service*), c'est-à-dire la capacité à garantir le fonctionnement d'un service à un utilisateur. Dans la pratique, WiMAX permet ainsi de réserver une bande

passante pour un usage donné. En effet, certains usages ne peuvent pas tolérer de goulots d'étranglement. C'est le cas notamment de la **voix sur IP** (VoIP) car la communication orale ne peut pas tolérer de coupures de l'ordre de la seconde.

WiFi

La norme **IEEE 802.11** (ISO/IEC 8802-11) est un standard international décrivant les caractéristiques d'un réseau local sans fil (WLAN). Le nom **WiFi** (*Wireless Fidelity*) correspond initialement au nom donné à la certification délivrée par la Wi-Fi Alliance[1], l'organisme chargé de maintenir l'interopérabilité entre les matériels répondant à la norme 802.11. Par abus de langage (et pour des raisons de marketing) le nom de la norme se confond aujourd'hui avec le nom de la certification. Ainsi un réseau WiFi est en réalité un réseau répondant à la **norme 802.11**. Les matériels certifiés par la Wi-Fi Alliance arborent le logo suivant :

Grâce au WiFi il est possible de créer des réseaux locaux sans fil à haut débit pour peu que la station à connecter ne soit pas trop distante par rapport au point d'accès. Le WiFi permet de relier des ordinateurs portables, des machines de bureau, des assistants personnels (PDA) ou tout type de périphérique à une liaison haut débit (11 Mbps ou supérieur) sur un rayon de plusieurs dizaines de mètres en intérieur (généralement entre une vingtaine et une cinquantaine de mètres) à plusieurs centaines de mètres en environnement ouvert.

Ainsi des opérateurs commencent à irriguer des zones à fortes concentrations d'utilisateurs (gares, aéroports, hôtels, trains...) avec des réseaux sans fil. Ces zones d'accès sont appelées **hot-spots**.

1. Anciennement WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*).

La **norme 802.11** s'attache à définir les couches basses du modèle OSI pour une liaison sans fil utilisant des ondes électromagnétiques, c'est-à-dire :

- la couche Physique (notée parfois *couche PHY*), proposant trois types de codages de l'information ;
- la couche Liaison de données, constitué de deux sous-couches : le contrôle de la liaison logique (LLC, *Logical Link Control*) et le contrôle d'accès au support (MAC, *Media Access Control*).

La **couche Physique** définit la modulation des ondes radioélectriques et les caractéristiques de la signalisation pour la transmission de données, tandis que la couche **Laison de données** définit l'interface entre le bus de la machine et la couche Physique, notamment une méthode d'accès proche de celle utilisée dans le standard Ethernet et les règles de communication entre les différentes stations. La norme 802.11 propose en réalité trois couches Physique, définissant des modes de transmission alternatifs :

Couche Liaison de données (MAC)	802.2
	802.11
Couche Physique (PHY)	DSSS FHSS Infrarouges

Il est possible d'utiliser n'importe quel protocole de haut niveau sur un réseau sans fil WiFi au même titre que sur un réseau Ethernet.

Normes WiFi

La **norme IEEE 802.11** est en réalité la norme initiale offrant des débits de 1 ou 2 Mbps. Des révisions ont été apportées à la norme originale afin d'optimiser le débit (c'est le cas des normes 802.11a, 802.11g et 802.11n, appelées normes 802.11 physiques) ou bien préciser des éléments afin d'assurer une meilleure sécurité ou une meilleure interopérabilité.

802.11a

La norme 802.11a permet d'obtenir un débit théorique de 54 Mbps, soit cinq fois plus que le 802.11b, pour une portée

d'environ une trentaine de mètres seulement. La norme 802.11a s'appuie sur un codage du type OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) sur la bande de fréquence 5 GHz et utilise huit canaux qui ne se recouvrent pas.

Ainsi, les équipements 802.11a ne sont donc pas compatibles avec les équipements 802.11b. Il existe toutefois des matériels intégrant des puces 802.11a et 802.11b, on parle alors de matériels **dual band**.

802.11b

La **norme 802.11b** permet d'obtenir un débit théorique de 11 Mbps, pour une portée d'environ une cinquantaine de mètres en intérieur et jusqu'à 200 mètres en extérieur (et même au-delà avec des antennes directionnelles).

802.11g

La **norme 802.11g** permet d'obtenir un débit théorique de 54 Mbps pour des portées équivalentes à celles de la norme 802.11b. D'autre part, dans la mesure où la norme 802.11g utilise la bande de fréquence 2,4 GHZ avec un codage OFDM, cette norme est compatible avec les matériels 802.11b, à l'exception de certains anciens matériels.

802.11n

La norme 802.11n, disponible depuis septembre 2009, offre un débit théorique de 300 Mbps, mais réel constaté plus proche de 40 Mbps dans un rayon de 100 mètres grâce aux technologies MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) et OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Il est apparu dès 2006 des périphériques fondés sur le Draft 1.0 (brouillon 1.0) et en 2007 fondés sur le Draft 2.0 : ils sont théoriquement compatibles avec la version finale du standard. En revanche, certains équipements nommés « pré-N » mettent en œuvre une technique MIMO d'une façon propriétaire, sans rapport avec la norme 802.11n.

Le 802.11n peut employer les fréquences 2,4 GHz ou 5 GHz. Il existe des matériels 802.11n simple bande à 2,4 GHz, mais également double bande (2,4 GHz ou 5 GHz, au choix) ou même double radio (2,4 GHz et 5 GHz simultanément). Le 802.11n est en mesure de combiner jusqu'à 8 canaux non superposés, permet-

tant en théorie d'atteindre une capacité totale effective de presque un gigabit par seconde.

L'emploi de la fréquence 5 GHz élimine les risques d'interférences dues aux fours à micro-ondes et diminue les risques sanitaires, puisqu'il ne s'agit plus de la fréquence de résonance de l'eau. Toutefois, cela interdit alors toute compatibilité avec les matériels des générations précédentes, d'où le maintien de la fréquence 2,4 GHz, destinée à conserver une compatibilité descendante.

802.11ac

Normalisé par l'IEEE le 8 janvier 2014, cette norme utilise exclusivement la bande de fréquences comprise entre 5 et 6 GHz, classiquement nommée bande des 5 GHz. Les canaux offrent un débit pouvant atteindre 500 Mbps chacun, soit jusqu'à 7 Gbps de débit global grâce au multiplexage et à l'utilisation de la technique multi-antenne MIMO.

Modes de fonctionnement du WiFi

Il existe différents types d'équipement pour la mise en place d'un réseau sans fil Wifi :

- Les **adaptateurs sans fils** ou **cartes d'accès** (*wireless adapters* ou NIC, *Network Interface Controller*) : il s'agit d'une carte réseau à la norme 802.11 permettant à une machine de se connecter à un réseau sans fil. Les adaptateurs WiFi sont disponibles dans de nombreux formats (carte PCI, carte PCMCIA, adaptateur USB, carte CompactFlash…). On appelle **station** tout équipement possédant une telle carte.
- Les **points d'accès** (notés AP, *Access Point*, parfois appelés *bornes sans fil*) permettant de donner un accès au réseau filaire (auquel il est raccordé) aux différentes stations avoisinantes équipées de cartes WiFi.

Le standard 802.11 définit deux modes opératoires :

- Le **mode infrastructure** dans lequel les clients sans fil sont connectés à un point d'accès. Il s'agit généralement du mode par défaut des cartes 802.11b.

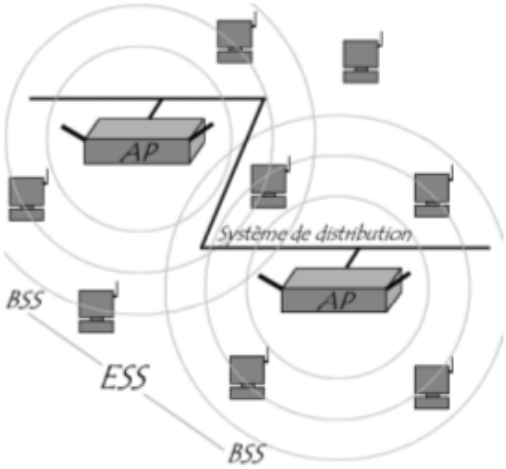
- Le **mode ad-hoc** dans lequel les clients sont connectés les uns aux autres sans aucun point d'accès.

Mode infrastructure

En **mode infrastructure** chaque ordinateur station (notée STA) se connecte à un point d'accès *via* une liaison sans fil. L'ensemble formé par le point d'accès et les stations situés dans sa zone de couverture est appelé **ensemble de services de base** (BSS, *Basic Service Set*) et constitue une cellule. Chaque BSS est identifié par un **BSSID**, un identifiant de 6 octets (48 bits). Dans le mode infrastructure, le BSSID correspond à l'adresse MAC du point d'accès.

Il est possible de relier plusieurs points d'accès entre eux (ou plus exactement plusieurs BSS) par une liaison appelée **système de distribution** (DS, *Distribution System*) afin de constituer un **ensemble de services étendu** (ESS, *Extended Service Set*). Le système de distribution peut être aussi bien un réseau filaire, qu'un câble entre deux points d'accès ou bien même un réseau sans fil !

Un ESS est identifié par un **ESSID** (*Service Set Identifier*) de 32 caractères de long (au format ASCII) servant de nom pour le réseau. L'ESSID, souvent abrégé en **SSID**, représente le nom du réseau et représente en quelque sorte un premier niveau de sécurité : la connaissance du **SSID** est nécessaire pour qu'une station se connecte au réseau étendu.



Lorsqu'un utilisateur nomade passe d'un BSS à un autre lors de son déplacement au sein de l'ESS, l'adaptateur réseau sans fil de sa machine est capable de changer de point d'accès selon la qualité de réception des signaux provenant des différents points d'accès. Les points d'accès communiquent entre eux grâce au système de distribution afin d'échanger des informations sur les stations et permettre le cas échéant de transmettre les données des stations mobiles. Cette caractéristique permettant aux stations de « passer de façon transparente » d'un point d'accès à un autre est appelée **itinérance** (*roaming*).

❑ Communication avec le point d'accès

Lors de l'entrée d'une station dans une cellule, celle-ci diffuse sur chaque canal une **requête de sondage** (*probe request*) contenant l'ESSID pour lequel elle est configurée ainsi que les débits que son adaptateur sans fil supporte. Si aucun ESSID n'est configuré, la station écoute le réseau à la recherche d'un SSID.

En effet chaque point d'accès diffuse régulièrement (à raison d'un envoi toutes les 0,1 seconde environ) une **trame balise** (*beacon*) donnant des informations sur son BSSID, ses caractéristiques et éventuellement son ESSID. L'ESSID est automatiquement diffusé par défaut, mais il est possible (et recommandé) de désactiver cette option.

À chaque requête de sondage reçue, le point d'accès vérifie l'ESSID et la demande de débit présents dans la trame balise. Si l'ESSID correspond à celui du point d'accès, ce dernier envoie une réponse contenant des informations sur sa charge et des données de synchronisation. La station recevant la réponse peut ainsi constater la qualité du signal émis par le point d'accès afin de juger de la distance à laquelle il se situe. En effet d'une manière générale, plus un point d'accès est proche, meilleur est le débit.

Une station se trouvant à la portée de plusieurs points d'accès (possédant bien évidemment le même SSID) pourra ainsi « choisir » le point d'accès offrant le meilleur compromis de débit et de charge.

Attention !

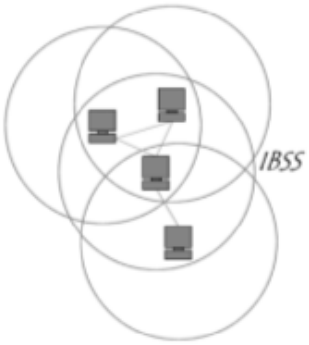
Lorsqu'une station se trouve dans le rayon d'action de plusieurs points d'accès, c'est elle qui choisit auquel se connecter !

Mode ad-hoc

En **mode ad-hoc** les machines sans fil clientes se connectent les unes aux autres afin de constituer un réseau d'égal à égal (*peer to peer*), c'est-à-dire un réseau dans lequel chaque machine joue en même temps le rôle de client et le rôle de point d'accès.

L'ensemble formé par les différentes stations est appelé **ensemble de services de base indépendants** (IBSS, *Independant Basic Service Set*).

Un IBSS est ainsi un réseau sans fil constitué au minimum de deux stations et n'utilisant pas de point d'accès. L'IBSS constitue donc un réseau éphémère permettant à des personnes situées dans une même salle d'échanger des données. Il est identifié par un SSID, comme l'est un ESS en mode infrastructure.



Dans un réseau ad-hoc, la portée du BSS indépendant est déterminée par la portée de chaque station. Cela signifie que si deux des stations du réseau sont hors de portée l'une de l'autre, elles ne pourront pas communiquer, même si elles « voient » d'autres stations. En effet, contrairement au mode infrastructure, le mode

ad-hoc ne propose pas de système de distribution capable de transmettre les trames d'une station à une autre. Ainsi un IBSS est par définition un réseau sans fil restreint.

Risques liés aux réseaux sans fil

Sécurité

La **sécurité** est une question importante en matière de réseau sans fil. Il est en effet pratiquement impossible de contrôler les ondes : une personne équipée d'un portable ou un PDA peut se connecter à un réseau juste en se garant à proximité de celui-ci. Un réseau filaire est moins accessible, puisqu'il faut l'accès à un câble pour parvenir au même résultat (c'est plus visible, mais pas absolument impossible).

L'accès sans fil aux réseaux locaux rend nécessaire l'élaboration d'une politique de sécurité. Il est notamment possible de choisir une méthode de codage de la communication sur l'interface radio. La plus commune est l'utilisation d'une clé dite *Wired Equivalent Privacy* (WEP), communiquée uniquement aux utilisateurs autorisés du réseau.

Le principe de WEP est intéressant, mais ne résiste pas à l'attaque d'un utilisateur averti. De nouvelles méthodes ont été avancées, comme *WiFi Protected Access* (WPA) ou plus récemment WPA2. Ce n'est que depuis l'adoption du standard 802.11i qu'il est possible de parler d'accès réseau sans fil réellement sécurisé.

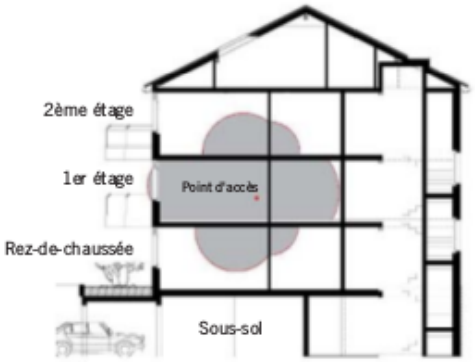
Il existe encore de nombreux points d'accès non sécurisés chez les particuliers, et, ce qui est plus inquiétant, chez les entreprises. Plus de 20 % des réseaux ne sont pas sécurisés. Le problème de la responsabilité du détenteur de la connexion WiFi se pose lorsque l'intrus réalise des actions illégales sur Internet (par exemple en diffusant grâce à cette connexion des vidéos volées).

Les ondes radioélectriques ont intrinsèquement une grande capacité à se propager dans toutes les directions avec une portée relativement grande. Il est ainsi très difficile d'arriver à confiner les émissions d'ondes radio dans un périmètre restreint. La propagation des ondes radio doit également être pensée en trois dimen-

sions. Ainsi les ondes se propagent également d'un étage à un autre avec de plus grandes atténuations.

La principale conséquence de cette « propagation sauvage » des ondes radio est la facilité que peut avoir une personne non autorisée d'**écouter le réseau**, éventuellement en dehors de l'enceinte du bâtiment où le réseau sans fil est déployé.

Là où le bât blesse c'est qu'un réseau sans fil peut très bien être installé dans une entreprise sans que le service informatique ne soit au courant ! Il suffit en effet à un employé de brancher un point d'accès sur une prise réseau pour que toutes les communications du réseau soient rendues « publiques » dans le rayon de couverture du point d'accès !



Les risques liés à la mauvaise protection d'un réseau sans fil sont multiples :

- L'**interception de données** consistant à écouter les transmissions des différents utilisateurs du réseau sans fil.
- Le **détournement de connexion** dont le but est d'obtenir l'accès à un réseau local ou à Internet.
- Le **brouillage des transmissions** consistant à émettre des signaux radio de telle manière à produire des interférences.
- Les **dénis de service** rendant le réseau inutilisable en envoyant des commandes factices.

Nous reviendrons plus en détail sur ces différents risques et sur les moyens de s'en défendre dans le chapitre traitant de la sécurité.

Risques sanitaires

Le WiFi apparaît au moment où se développent des interrogations quant à l'impact des radiofréquences sur la santé de l'homme. Des débats scientifiques se sont multipliés autour du téléphone mobile, et le débat s'est étendu à l'ensemble des technologies radio reposant sur les micro-ondes, ce qui comprend le WiFi.

Les ondes émises par les équipements WiFi se diffusent dans l'ensemble de l'environnement. Toutefois, la fréquence de ces ondes est relativement élevée (2,4 GHz et 5 GHz) et de ce fait elles traversent mal les murs. En outre, la puissance émise par les équipements WiFi (~30 mW) est vingt fois moindre que celle émise par les téléphones mobiles (~600 mW). De plus, le téléphone est généralement tenu à proximité immédiate du cerveau, ce qui n'est pas le cas des équipements WiFi (à l'exception des téléphones WiFi). Or, dès une dizaine de centimètres, la densité de puissance du signal est déjà fortement atténuée. Malgré la permanence d'exposition, les effets thermiques des ondes WiFi sont donc unanimement reconnus comme étant négligeables.

Aujourd'hui, des études sont encore en cours, et s'il n'y a pas d'unanimité au sein de la communauté scientifique concernant l'innocuité du WiFi, les études existantes ont montré soit une absence de danger, soit, selon les études les plus pessimistes, un risque très limité.

Courant porteur en ligne (CPL)

Il peut sembler curieux de citer le CPL dans le chapitre traitant des réseaux sans fil, puisque celui-ci repose en pratique sur le câblage électrique et donc sur des fils. Mais c'est justement le fait qu'il ait recours à un câblage préexistant, sans nécessiter la pose de nouveaux fils, qui justifie à nos yeux sa présence dans ce chapitre. D'une certaine façon, il peut être mis en place presque comme un vrai réseau WiFi.

Le nom « **Courant Porteur en Ligne** » est donné à toute technologie qui vise à faire passer de l'information à bas débit ou haut débit sur les lignes électriques en utilisant des techniques de modulation avancées. Selon les pays, les institutions, les sociétés, les courants porteurs en ligne se retrouvent sous plusieurs mots clés

différents : CPL (*Courant porteurs en ligne*), PLC (*Powerline Communications*), PLT (*Powerline Telecommunication*), PPC (*Power Plus Communications*).

La technologie sur courant porteur existe depuis longtemps, mais elle n'était utilisée pendant longtemps qu'à bas débit pour des applications de télécommande de relais, éclairage public et domotique. Le haut débit sur CPL n'a toutefois commencé qu'à la fin des années 1990.

❑ Principe de fonctionnement

En effectuant la technologie CPL à haut débit, il est possible de faire passer des données informatiques sur le réseau électrique, et ainsi étendre un réseau local existant ou partager un accès Internet existant *via* les prises électriques grâce à la mise en place de boîtiers spécifiques.

Le principe des CPL consiste à superposer au signal électrique de 50 Hz un autre signal à plus haute fréquence (bande 1,6 à 30 MHz) et de faible énergie. Ce deuxième signal se propage sur l'installation électrique et peut être reçu et décodé à distance. Ainsi le signal CPL est reçu par tout récepteur CPL qui se trouve sur le même réseau électrique.

Un coupleur intégré en entrée des récepteurs CPL élimine les composantes basse fréquence avant le traitement du signal.

❑ Cadre juridique et réglementation

La mise en place de réseaux CPL est libre dès lors que l'installation se situe derrière un compteur privé. On parle alors de réseau CPL *Indoor* ou *InHome*.

❑ Standardisation

Le standard d'origine américaine **Homeplug** a connu plusieurs versions, la 1.0, avec un débit de 14 Mbps (plus proche en réalité d'1 à 6 Mbps), Homeplug Turbo (85 Mbps théoriques, 10 à 30 Mbps en réalité), rétrocompatible avec la précédente et la version 2.0 ou AV, incompatible avec les précédentes et théoriquement capable d'atteindre 200 Mbps (mais en réalité ne dépassant guère 30 à 50 Mbps). En 2010, a été ratifiée la norme IEEE 1901-2010, qui prévoit l'emploi d'adaptateurs CPL domestiques atteignant la vitesse théorique de 500 Mbits. En 2012, une alliance

G3-PLC fondée par un groupe d'acteurs industriels parrainés par ERDF promeut la technologie G3-PLC : le seul standard CPL à bande étroite prenant en charge le protocole Internet IPv6 et la compression d'en-tête IP 6LoWPAN5. C'est ce protocole CPL-G3 qui est utilisé par ERDF pour la mise en place du compteur communicant Linky.

Fonctionnement

❑ Canal de Transmission

Le support du réseau électrique n'a pas été étudié pour transporter des signaux Haute fréquence (HF). Il faut donc prendre en compte les contraintes de ce support pour assurer une bonne transmission de ces signaux HF sans pour autant perturber les appareils environnants, ni les fréquences de la bande 1-30 MHz par rayonnement, certaines fréquences de cette bande étant réservées à l'armée ou bien aux radioamateurs.

Tout ceci doit enfin être étudié pour donner un débit suffisant à l'utilisateur en bout de ligne.

Tout le problème consiste ainsi à limiter la puissance de fonctionnement des courants porteurs tout en assurant un débit suffisant, et limiter les effets du bruit et de la distorsion sur la ligne. La solution : allier un traitement du signal le plus performant possible et effectuer un couplage optimal du réseau CPL au réseau électrique.

Il existe deux méthodes de couplage : couplage capacitif en parallèle sur le réseau électrique ou couplage inductif *via* un tore de ferrite. En ce qui concerne les installations en intérieur (*indoor*), le couplage capacitif est fait par défaut lorsqu'on branche l'équipement CPL sur la prise électrique.

❑ Techniques de modulation de données

Tout l'enjeu des CPL est de « tenir » un débit avec un niveau d'émission faible, d'où une limitation de la puissance de fonctionnement des courants porteurs, ou bien un traitement du signal le plus performant possible pour contourner cette contrainte de niveau d'émission.

Sur les solutions actuelles, deux types de modulation ressortent particulièrement : OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multi-*

plexing) et Spread Spectrum (ou modulation à étalement de spectre).

OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing

La technique de transmission OFDM est basée sur l'émission simultanée sur *n* bandes de fréquence (situées entre 2 et 30 MHz) de *N* porteuses sur chaque bande. Le signal est réparti sur les porteuses. Les fréquences de travail sont choisies en fonction des réglementations, les autres sont « éteintes » de manière logicielle. Le signal est émis à un niveau assez élevé pour pouvoir monter en débit, et injecté sur plusieurs fréquences à la fois. Si l'une d'elles est atténuée le signal passera quand même grâce à l'émission simultanée. Le spectre du signal OFDM présente une occupation optimale de la bande allouée grâce à l'orthogonalité des sous-porteuses.

SS Spread Spectrum : Modulation à étalement de spectre

Le principe de la modulation à étalement de spectre (Spread Spectrum) consiste à « étaler » l'information sur une bande de fréquences beaucoup plus large que la bande nécessaire, dans le but de combattre les signaux interférents et les distorsions liées à la propagation : le signal se confond avec le bruit. Le signal est codé au départ, un code est assigné à chacun des usagers afin de permettre le décodage à l'arrivée. L'étalement est assuré par un signal pseudo aléatoire appelé code d'étalement. A la réception le signal est perçu comme du bruit si le récepteur n'a pas le code. Le signal étant émis à un niveau plus faible que celui du bruit, le débit reste faible. La modulation avec étalement de spectre est ainsi optimisée pour lutter contre le bruit, dont elle limite mieux les effets.

La modulation CDMA (*Code Division Multiple Access*) est une modulation à étalement de spectre utilisée pour certaines solutions CPL.

Les solutions qui utilisent l'étalement de spectre restent à bas débit, seules les solutions qui utilisent OFDM peuvent monter en débit à ce jour.

❑ Liaison de données

Toute solution CPL doit inclure une couche physique robuste mais également un protocole d'accès à la couche réseau effi-

cace. Ce protocole contrôle le partage du média de transmission entre de nombreux clients, pendant que la couche physique spécifie la modulation, le codage et le format des paquets.

La méthode d'accès utilisée par les machines utilisant les courants porteurs en ligne est le CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*), c'est-à-dire la même méthode utilisée pour les réseaux sans fils WiFi.

Les solutions CPL intérieures (*indoor*) commercialisées à ce jour, de type Homeplug, sont des solutions parfaites pour étendre le réseau local et partager l'accès Internet haut débit existant, notamment à la maison ou en petite entreprise, avec une mise en œuvre simple. Les boîtiers CPL se présentent en général avec un port Ethernet ou USB suivant le modèle choisi, et une connexion vers la prise électrique.

La mise en œuvre d'une solution CPL en intérieur demande au niveau informatique comme configuration minimum un PC avec carte Ethernet ou une prise USB selon le choix du boîtier. Attention tout de même à la disponibilité des drivers (pour les modèles en USB) selon le système d'exploitation.

- Pour la mise en place d'un boîtier Ethernet, l'installation est équivalente à celle d'un réseau local Ethernet filaire.
- Pour la mise en place d'un boîtier USB, la configuration se fait *via* le pilote fourni, une carte réseau virtuelle est alors à configurer comme la carte Ethernet en réseau local.

Au niveau électrique, l'installation ne pose aucun souci à l'intérieur d'un logement derrière un compteur monophasé : les adaptateurs se branchent directement sur les prises électriques.

Les produits actuellement disponibles, tous fondés sur la norme Homeplug, se répartissent entre les modèles Homeplug Turbo annoncés à 85 Mbps et les modèles Homeplug AV, plus onéreux mais annoncés à 200 Mbps. Ces deux technologies ne sont pas compatibles, mais peuvent coexister sur un même réseau électrique (sans communication possible entre les deux sous réseaux). Les modèles 85 Mbps sont largement suffisants pour des applications Internet : réservez un réseau Homeplug AV 200 Mbps à la transmission de données audiovisuelles (télévision éloignée d'une box, par exemple). Sachez en outre que le débit diminue proportionnellement au nombre de prises CPL.

La sécurité du réseau CPL

La sécurité d'un réseau CPL tient à trois de ses composantes :

Rôle de la phase électrique : le signal passe les phases par induction, mais il est très vite dégradé d'une phase à l'autre.

Rôle du compteur électrique : le signal CPL passe le compteur électrique, ce dernier ne constitue donc en aucun cas une barrière pour le réseau CPL.

Aspect sécurité réseau local : Tout réseau CPL doit être sécurisé comme tout réseau local, avec la mise en place notamment d'un système pare-feu (*firewall*). Il existe cependant deux niveaux de sécurité intrinsèques aux équipements CPL :

- un cryptage DES (avec une clé de 56 ou 128 bits),
- la possibilité de création de réseaux séparés sur un même circuit électrique avec deux clés de cryptage différentes, configurables *via* un utilitaire généralement fourni avec l'équipement.

Avantages et inconvénients du CPL

Les avantages sont la mobilité, la souplesse, la simplicité de mise en œuvre, la stabilité de fonctionnement et la complémentarité par rapport aux solutions filaires et sans fil.

Le système n'est toutefois pas dépourvu d'inconvénients : les possibilités de mise en œuvre et le bon fonctionnement dépendent de l'architecture du réseau électrique existant, la standardisation reste faible (même si cela est en voie d'amélioration), si bien que peuvent se poser des problèmes d'interopérabilité entre différents équipements (mieux vaut s'en tenir à une même et unique marque). Enfin, le prix, bien qu'en baisse constante, reste encore un peu élevé à ce jour.

Les solutions CPL peuvent être vues comme des solutions complémentaires ou alternatives aux réseaux filaires traditionnels, aux réseaux sans fil et au VDSL. Il existe des adapteurs CPL capables de servir de points d'accès WiFi, ce qui est un excellent moyen d'étendre un réseau. Certains FAI, dont Free, proposent désormais des adaptateurs CPL en complément de leur offre de box classique.

Mise en place d'un réseau

Lorsque vous disposez de plusieurs ordinateurs, il peut être pratique de les connecter ensemble afin de créer un **réseau local** (LAN). La mise en place d'un tel réseau est très peu onéreuse et permet entre autres :

- le transfert de fichiers,
- le partage de ressources (partage de la connexion à Internet, partage d'imprimante, disques partagés, etc.),
- la mobilité (dans le cas d'un réseau sans fil),
- la discussion (essentiellement lorsque les ordinateurs sont distants),
- le jeu en réseau.

Il existe plusieurs types de réseau local : les réseaux filaires en câblage **RJ45** (représentant la quasi-totalité des réseaux locaux filaires), les réseaux en câble **BNC**, en voie de disparition, les réseaux sans fil ainsi qu'une solution intermédiaire, le Courant Porteur en Ligne ou CPL, qui utilise le câblage du réseau électrique.

Matériel nécessaire

Pour créer un réseau local, il suffit de :

Matériel général :

- Plusieurs ordinateurs ou dispositifs à capacité réseau (des ordinateurs fonctionnant sous divers systèmes d'exploitations peuvent, sous certaines conditions, faire partie du même réseau) ;
- **Sur chaque machine, une carte réseau Ethernet ou sans fil**. Elle peut être sur port PCI, intégrée à la carte-mère, sur port USB ou sur port PCMCIA ;

Réseau filaire :

- Des **câbles RJ45**, dans le cas de réseaux filaires (5 à 25 € selon la longueur et la catégorie) ;
- Un **concentrateur** (*hub*), boîtier auquel il est possible de connecter les câbles RJ45 provenant des différents ordinateurs du réseau, ou mieux un **commutateur** (*switch*), dont les prix sont désormais équivalents (20 à 50), pour de meilleures performances. Pour ne connecter que deux ordinateurs, un **câble RJ45 croisé** (2 à 10 € selon la longueur) est suffisant.

À savoir

Il existe trois types de réseaux Ethernet, caractérisés par leur vitesse : on parle ainsi de réseau 10 BaseT, 100 BaseT ou Megabits. Ils offrent respectivement des débits maximum de 10, 100 et 1000 mégabits par seconde. Chaque composant de votre réseau doit être adapté à la vitesse maximale souhaitée : c'est toujours le maillon le plus lent qui déterminera la vitesse théorique maximale.

De nos jours, la plupart des ordinateurs sont équipés d'usine d'une carte réseau Ethernet : regardez sa vitesse. C'est elle qui conditionnera le matériel annexe nécessaire.

De même, il est probable que vous soyez connecté à l'Internet à l'aide d'un modem appelé « box », spécifique à chaque fournisseur d'accès Internet ou FAI. Ces « boxes » possèdent généralement plusieurs prises RJ45 et se comportent comme un routeur/commutateur : vous n'avez donc pas à acquérir de matériel complémentaire.

Réseau sans fil (mode infrastructure) :

- **Un point d'accès** auquel se connecteront les différents dispositifs. Les boxes des FAI sont désormais fréquemment

dotées de capacités sans fil et constituent alors un tel point d'accès.

Réseau CPL :

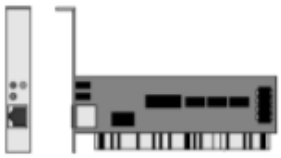
- Pour chaque machine concernée, un adaptateur CPL connecté à une prise de courant et relié au dispositif concerné.

Mise en œuvre

Installation d'une carte réseau

Une **carte réseau** sert d'interface physique entre l'ordinateur et le câble. Elle prépare les données émises par l'ordinateur, les transfère vers un autre ordinateur et contrôle le flux de données entre l'ordinateur et le câble. Elle traduit aussi les données extérieures et les traduit en octets afin que l'unité centrale de l'ordinateur les comprenne.

Pour permettre l'échange de données entre les ordinateurs, il est nécessaire d'installer (si elle n'est pas déjà présente) dans chaque ordinateur susceptible de faire partie du réseau local une carte réseau. Nous allons utiliser pour la démonstration une carte réseau Ethernet **compatible NE2000** sous les systèmes Microsoft Windows.



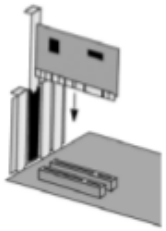
Installation matérielle

La première chose à faire est d'ouvrir votre ordinateur et d'insérer la carte réseau dans le connecteur d'extension.

Le **connecteur d'extension** (*slots*) est un connecteur rectangulaire dans lequel on enfiche le processeur verticalement. Il existe plusieurs sortes de connecteurs :

- Les **connecteurs ISA** fonctionnant en 16 bits. Peu d'ordinateurs récents possèdent encore ce type de connecteur car il s'agit d'un bus peu rapide.
- Les **connecteurs PCI** fonctionnant en 32 bits. Il s'agit du type de connecteur pour la plupart des cartes d'extension, à l'exception des cartes graphiques de dernière génération.
- Les **connecteurs PCI Express**. C'est la version série du bus PCI parallèle. Sa longueur varie selon son type (1x, 2x, 4x, 8x ou 16x).
- Les **connecteurs AGP** fonctionnant en 32 bits. Il s'agit d'un bus rapide réservé à la carte graphique, généralement repérable par sa couleur brune.

Il n'y a aucune crainte à avoir : il n'est pas possible de se tromper dans la mesure où chacun de ces types de cartes a un emplacement de taille différente.



Pour installer une carte d'extension, il suffit de retirer le cache correspondant sur le boîtier, puis d'enficher l'arrière de la carte, de rabaisser doucement l'avant, enfin de la visser. Dans la mesure du possible, il est conseillé de laisser un emplacement de libre entre les cartes afin de leur permettre d'évacuer plus facilement la chaleur.

Une carte réseau (essentiellement sans fil) peut également se connecter sur un port PCMCIA ou USB (on parle alors souvent de *dongle*). Il suffit dans ce cas d'insérer la carte ou son connecteur dans le port adéquat situé sur le boitier de l'ordinateur.

Installation des pilotes

Si votre carte réseau est intégrée d'usine dans votre ordinateur, vous n'avez strictement rien à faire : le pilote est déjà installé.

Si vous avez installé une nouvelle carte, avec les logiciels d'exploitation Windows Vista et ultérieur, la détection du matériel est en principe automatique et le pilote adéquat est automatiquement installé. Si tel n'est pas le cas, ou si Windows est incapable de trouver le pilote adapté, vous devrez installer manuellement les pilotes.

Visitez toujours le site du constructeur de l'adaptateur réseau afin de récupérer les dernières versions des pilotes adaptés à votre système d'exploitation, même dans le cas d'un matériel fraîchement acheté. En effet, les mises à jour majeures ont généralement lieu après la mise sur le marché des matériels. De plus, les pilotes présents dans l'emballage remontent parfois à plusieurs mois.

Pour l'installation d'une carte réseau ou d'un adaptateur réseau, il est nécessaire de se référer à la documentation fournie, car la procédure peut varier d'un constructeur à un autre. Certains constructeurs demandent par exemple de ne surtout pas brancher le périphérique avant d'avoir installé les pilotes.

En cas de problème d'installation, il est possible, et conseillé, de faire une recherche sur votre moteur de recherche favori avec comme mots-clés la marque et la référence du matériel plus un ou plusieurs mots-clés tels que « installation », « pilotes », et « windows ».

Si l'installation se déroule correctement, sous Windows, une fenêtre d'invite devrait apparaître pour vous demander de procéder à l'installation et un message d'avertissement peut éventuellement apparaître, signalant que le pilote n'est pas signé.

Cliquez sur *Continuer*. Une infobulle vous indiquant qu'un nouveau matériel a été installé et vous invitant à exécuter la configuration automatique devrait alors apparaître.

Installation des protocoles

Les **protocoles** sont les éléments logiciels qui vont permettre la communication entre les ordinateurs. Les principaux protocoles pour un réseau local sont les suivants :

- **TCP/IP** : le protocole utilisé sur Internet. Il vous sera nécessaire si vous décidez de relier votre réseau local à Internet.

- **Client pour réseaux Microsoft** : le protocole propriétaire de Microsoft, permettant notamment le partage de fichiers ou d'imprimantes.

Par défaut le système d'exploitation installe les protocoles courants, qui seront suffisants pour la quasi-totalité des utilisateurs. Sauf besoin spécifique, il n'est pas nécessaire de lire la suite de cette section.

Pour installer des protocoles spécifiques, ouvrez les propriétés de la connexion réseau souhaitée et cliquez sur *Installer*, puis choisissez *protocole* ou *services*.

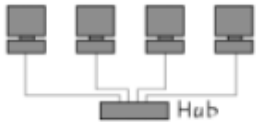
Mise en réseau

Choix de l'achitecture du réseau

Pour créer un réseau local en RJ45, il est recommandé d'adopter une **structure en étoile** dans laquelle les ordinateurs sont chacun connectés au *hub* ou *switch* (concentrateur ou commutateur) ou à la box par l'intermédiaire d'un câble RJ45. Le choix du *hub* ou du *switch*, ou la nécessité d'acquérir un matériel supplémentaire, se fera donc en fonction du nombre d'ordinateurs connectés afin d'avoir assez de prises (ports) sur celui-ci.

Comme précisé précédemment, un commutateur est désormais à préférer à un *hub*, car il permet de ne diffuser les paquets qu'aux ordinateurs concernés, alors que le *hub* envoie systématiquement les paquets à tous les ordinateurs connectés.

La structure d'un tel réseau ressemble à ceci :



Si vous désirez connecter uniquement deux ordinateurs, il est possible de se passer du *hub*, en reliant directement les deux ordinateurs avec un câble RJ45 croisé.

Attention !

Les structures de réseau suivantes ne fonctionneront pas, même si elles semblent être correctes à première vue, à moins que les ordinateurs possèdent plusieurs interfaces réseaux (plusieurs cartes) et que les câbles utilisés entre deux ordinateurs soient des câbles croisés :

Configuration de la carte réseau

Pour **configurer** chaque ordinateur, il suffit d'aller dans le *Panneau de configuration*, puis de double-cliquer sur *Connexions réseau*, ensuite de cliquer avec le bouton droit sur *Connexion au réseau local*, puis de choisir *Propriétés* !

Protocoles et services

Dans la fenêtre de connexion au réseau local sont affichés les différents **protocoles** installés. Afin de pouvoir partager vos fichiers, jouer en réseau, utiliser vos imprimantes, il est nécessaire que les protocoles suivants soient installés :

Impérativement :

- Client pour les réseaux Microsoft,
- Partage de fichier et d'imprimantes pour les réseaux Microsoft,
- Protocole Internet TCP/IP.

Facultativement :

- Planificateur de paquets QoS,
- NetBIOS Nwlink,
- Protocole de transport compatible NWLink IPX/SPX/NetBIOS (pour les jeux anciens).

Si l'un de ces protocoles venait à manquer, cliquez sur *Installer...* et ajoutez-le.

Paramétrage TCP/IP

Chaque ordinateur doit ensuite se voir affecter une **adresse** (adresse IP) afin de pouvoir communiquer. Pour cela il s'agit de sélectionner le *Protocole Internet TCP/IP* et de cliquer sur *Propriétés*.

Si vous disposez d'un routeur, d'une box ou d'un serveur DHCP, l'attribution des adresses IP peut se faire automatiquement. Sélectionnez **Obtenir une adresse IP automatiquement.**

Si votre point d'accès ne possède pas de serveur DHCP, sélectionnez **Utiliser l'adresse IP suivante**. On emploie traditionnellement les adresses suivantes (en supposant que l'ordinateur 1 est celui qui dispose de l'accès à Internet) :

	Ordinateur 1	Ordinateur 2	...	Ordinateur x
Adresse IP	192.168.0.1	192.168.0.2		192.168.0.x

	Ordinateur 1	Ordinateur 2	...	Ordinateur x
Passerelle par défaut	192.168.0.1	192.168.0.1		192.168.0.1
Masque de sous réseau	255.255.255.0	255.255.255.0		255.255.255.0

Une fois l'adresse IP allouée, il suffit de fermer la fenêtre en cliquant sur *OK* (les DNS seront laissés en automatique).

À savoir

Vérifiez que les ordinateurs du réseau appartiennent bien au même groupe de travail. Pour ceci, il suffit de faire un clic droit sur le poste de travail et de sélectionner *Propriétés*. Dans l'onglet *Nom de l'ordinateur* apparaît le nom de l'ordinateur ainsi que le groupe de travail auquel il appartient. Pour modifier le groupe de travail, et affecter le même à tous les ordinateurs, il suffit de cliquer sur *ID réseau*.

L'étape suivante consiste à vérifier que les différents ordinateurs communiquent bien ensemble.

Faites un clic droit sur l'icône *Favoris réseau* de votre bureau puis cliquez sur *Explorer* (attention il y a une différence entre Explorer et Ouvrir !!!), cliquez sur *Tout le réseau*, puis sur le groupe de travail vous verrez ainsi les ordinateurs ainsi que tous les dossiers et fichiers qu'ils partagent.

Mise en place d'un réseau sans fil

Un **réseau sans fil** permet de connecter plusieurs appareils ou plusieurs ordinateurs en réseau, sans aucune connectique filaire. Grâce aux technologies de réseau sans fil, il est ainsi possible d'accéder à des ressources partagées, notamment à Internet, à partir de plusieurs lieux différents : on parle ainsi de **mobilité** ou d'itinérance.

La **technologie WiFi** est la technologie de réseau local sans fil la plus usitée. Cette technologie permet de connecter des ordinateurs sur une distance d'environ une centaine de mètres à un débit partagé pouvant aller d'une dizaine de Mégabits par seconde (Mbps) à plusieurs dizaines de Mbps.

La technologie WiFi propose deux modes opérationnels :

- Le **mode ad-hoc** : un mode d'égal à égal permettant de relier entre eux des ordinateurs équipés d'adaptateurs sans fil ;
- Le **mode infrastructure** : un mode permettant de relier des ordinateurs à un réseau filaire par l'intermédiaire d'un équipement appelé point d'accès.

Installation de l'adaptateur sans fil

Avant toute chose, il est nécessaire d'équiper toutes les machines du futur **réseau** d'un adaptateur sans fil et d'installer les pilotes. Une nouvelle icône apparaît dans la barre des tâches, indiquant la présence d'un adaptateur sans fil actif dans l'ordinateur.

Vous devez ensuite configurer les protocoles employés par la connexion réseau, et définir les paramètres d'adressage IP, comme exposé précédemment pour tout réseau. L'ordinateur servant éventuellement de passerelle Internet (mode ad hoc) ou de point d'accès (mode infrastructure) possède généralement l'adresse privée la plus faible (comme 192. 68.0.1), les autres recevant les adresses consécutives suivantes. Souvenez-vous bien que toute adresse doit être unique sur le réseau. Dans le cas d'un point d'accès, il est souvent possible d'activer la fonction DHCP déjà abordé, auquel cas c'est elle qui attribue automatiquement les adresses IP nécessaires.

Utilitaire de configuration sans fil

Par défaut, Windows propose un utilitaire permettant de configurer les réseaux sans fil. L'utilitaire de configuration de réseau sans fil de Microsoft Windows XP désactive en principe les outils de configuration des constructeurs. Dans certains cas toutefois, la coexistence de plusieurs utilitaires peut aboutir à des conflits. Vous devrez désactiver l'un de ces utilitaires. Pour désactiver l'outil de Windows XP, il suffit de cliquer sur *Démarrer /Paramètres/ Connexions réseau*, puis de cliquer avec le bouton droit sur l'icône

correspondant au réseau sans fil et de choisir *Propriétés*. Dans l'onglet *Configuration réseau sans fil* cocher ou décocher *Utiliser Windows pour configurer mon réseau sans fil*.

Configuration du réseau ad-hoc

Si vous possédez deux ordinateurs ou plus équipés d'adaptateurs sans fil (cartes WiFi), il est possible de les relier très simplement en réseau en mettant en place un réseau dit « ad-hoc », c'est-à-dire un réseau d'égal à égal, sans utiliser de point d'accès.

Si un des ordinateurs du réseau ad-hoc possède une connexion à Internet, il est alors possible de la partager avec les autres ordinateurs du réseau, comme dans le cas d'un réseau local traditionnel.

La boîte de dialogue des propriétés de la connexion réseau sans fil (*Configuration réseaux sans fil*) présente les réseaux détectés par l'adaptateur sans fil et permet de les configurer. Afin de créer un **réseau ad-hoc**, il est nécessaire d'ajouter un nouveau réseau, repéré par un nom unique, le **SSID**. Pour ce faire, cliquez sur le bouton *Ajouter*. Une nouvelle boîte de dialogue s'ouvre alors.

Pour créer le réseau ad-hoc, il suffit, sur chacun des ordinateurs du futur réseau, de saisir le même SSID et de cocher la case *Ceci est un réseau d'égal à égal*. Les autres options servent à renforcer la sécurité. Dans un premier temps, laissez le réseau complètement ouvert (avec les options de la capture précédente), afin de ne pas multiplier les paramètres risquant d'empêcher la première mise en réseau.

Propriétés du réseau sans fil
Association
Authentification
Connexion
Nom réseau (SSID) :
Clé de réseau sans fil
Le réseau nécessite une clé pour l'opération suivante :
Authentification réseau :
Ouvrir
Cryptage des données :
Désactivé
Clé réseau :
Confirmez la clé réseau :
Index de la clé (avancé) :
La clé m'est fournie automatiquement
Ceci est un réseau d'égal à égal (ad hoc) ; les points d'accès sans fil ne sont pas utilisés
OK
Annuler

Dès lors, les machines du réseau ad-hoc devraient être en mesure d'être connectées ensemble.

Résolution des problèmes

Si l'icône de la barre des tâches affiche une **petite croix**, l'ordinateur n'est pas connecté au réseau sans fil. Voici les quelques points à vérifier :

- Dans la liste des réseaux sans fil disponibles (clic simple sur l'icône *Connexion réseau sans fil* de la barre des tâches), le SSID du réseau ad-hoc doit apparaître. Un double-clic sur son nom permet de s'y connecter
- S'il n'apparaît pas, ouvrez les propriétés de la connexion réseau sans fil (*Configuration réseaux sans fil*), cliquez sur *Avancé* et vérifier que l'ordinateur n'est pas configuré sur *Réseaux avec point d'accès uniquement (infrastructure).*
- Si cela ne fonctionne toujours pas, veuillez désactiver temporairement vos pare-feu personnels (y compris le pare-feu de Windows XP), afin de réduire le nombre de causes d'échec possibles.

Pour plus d'informations, reportez-vous si nécessaire au chapitre « Dépannage Réseau ».

Mode infrastructure

La mise en place d'un réseau WiFi en mode infrastructure est très similaire à celle d'un réseau WiFi d'égal à égal à ces quelques différences près :

- Un réseau WiFi en mode infrastructure nécessite un point d'accès, connecté ou non à un réseau local, voire à Internet dans le cas d'un routeur sans fil.
- L'association des machines clientes au réseau infrastructure est généralement plus simple.
- Si le réseau sans fil a pour but de permettre l'accès à Internet aux postes nomades, il n'est pas nécessaire de laisser un ordinateur allumé pour obtenir l'accès au réseau des réseaux.

- Les possibilités en terme de sécurité sont plus larges et plus robustes.

Configuration du point d'accès

Le **point d'accès** est l'élément matériel central d'un réseau WiFi en mode infrastructure : il permet de gérer l'association des machines clientes et de les relier au réseau local. Ainsi, un point d'accès possède en général un certain nombre de connecteurs permettant de le relier à un réseau local ou bien parfois à un ordinateur à l'aide d'un cordon USB.

L'interface de configuration peut varier d'un constructeur à un autre, néanmoins la plupart du temps les points d'accès possèdent une interface web locale, accessible à une adresse du type **http://192.168.1.1** (ou *http://192.168.0.1*).

Pour configurer le point d'accès sans fil, il suffit donc que celui-ci soit branché *a minima* à un ordinateur par une connexion filaire. Pour accéder à l'interface, il suffit de saisir l'adresse **http://192.168.1.1** dans un simple navigateur web. L'interface demande alors un nom d'utilisateur (*identifiant*) et un mot de passe. Il suffit de saisir l'identifiant et le mot de passe par défaut, mentionnés dans la documentation du point d'accès.

Attention !

Il est vivement recommandé de **modifier le mot de passe** par défaut, afin d'éviter un risque de piratage par un tiers. En effet, l'écran d'invite précise généralement le nom du modèle de point d'accès, ce qui rend très simple la tâche du pirate.

Configuration du réseau sans fil

Dans la section concernant le paramétrage du réseau sans fil, il suffit de choisir les paramètres du réseau et de saisir un identifiant SSID caractérisant le réseau sans fil.

De préférence choisissez un SSID caractéristique vous permettant d'identifier facilement votre réseau mais évitez d'y inclure des

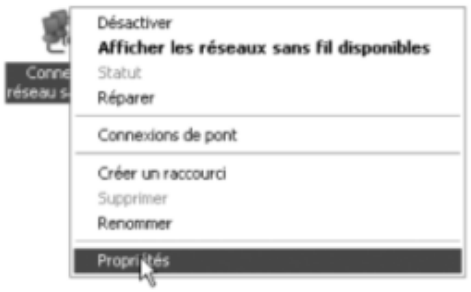
éléments d'informations personnelles (nom, prénom, adresse, etc.)

❑ DHCP

L'activation du service DHCP sur le point d'accès permet d'affecter automatiquement des adresses IP aux stations clientes. La plupart du temps il est possible de définir la plage des adresses attribuables, à l'aide d'une adresse de début, une adresse de fin et un masque de sous-réseau. Certains points d'accès permettent également d'effectuer une réservation d'adresse IP, afin que le point d'accès attribue automatiquement la même IP à une machine.

❑ Configuration des machines clientes

La configuration des machines clientes est très similaire à la configuration dans le cas d'un réseau d'égal à égal. Il suffit de cliquer avec le bouton droit sur l'icône de la connexion réseau sans fil et de choisir *Propriétés* ou bien de cliquer sur l'icône de la barre des tâches et de choisir *Propriétés*.



La boîte de dialogue des propriétés de la connexion réseau sans fil (*Configuration réseaux sans fil*) présente les réseaux détectés par l'adaptateur sans fil et permet de les configurer. Afin de se connecter au point d'accès, il suffit d'ajouter un nouveau réseau, repéré par un nom unique, le **SSID**. Pour ce faire, cliquez sur le bouton *Ajouter*. Une nouvelle boîte de dialogue s'ouvre alors.

Propriétés du réseau sans fil
Association
Authentification
Connexion
Nom réseau (SSID) :
CCM_NetWork_ID
Clé de réseau sans fil
Le réseau nécessite une clé pour l'opération suivante :
Authentification réseau :
Ouvrir
Cryptage des données :
Désactivé
Clé réseau :
Confirmez la clé réseau :
Index de la clé (avancé) :
La clé m'est fournie automatiquement
Ceci est un réseau d'égal à égal (ad hoc) ; les points d'accès sans fil ne sont pas utilisés
OK
Annuler

Pour se connecter à un réseau en mode infrastructure (i.e avec un point d'accès), la case *Ceci est un réseau d'égal à égal* ne doit pas être cochée. Les autres options servent à renforcer la sécurité. Dans un premier temps, laissez le réseau complètement ouvert (avec les options de la capture précédente), afin de ne pas multiplier les paramètres risquant d'empêcher la première mise en réseau. Idéalement, si le point d'accès le permet, désactivez la diffusion du SSID (*SSID Broadcast*) afin de limiter sa visibilité à votre entourage.

Connexion à un réseau WiFi avec Windows 7 et ultérieur

La connexion de tout ordinateur Windows récent à un réseau sans fil est extrêmement simple. Si vous n'êtes pas automatiquement connecté, ouvrez le Centre Réseau et Partage et cliquez sur Connexion à un réseau.

Vous pouvez également cliquer sur l'icône de connexion réseau, en bas à droite dans la barre système. Dans les deux cas, une fenêtre s'affiche.

Si un réseau est disponible à proximité, il est indiqué : cliquez sur Autre réseau. Dans la fenêtre qui apparaît, cliquez sur Connecter.

Vous êtes alors invité à saisir le nom (SSID) du réseau, puis, si celui-ci est correct, vous êtes connecté au réseau.

Si votre réseau sans fil est sécurisé (ce qui est fortement recommandé), une étape intermédiaire avant que la connexion ne puisse s'établir sera de fournir la clé de chiffrement (WEP ou WAP) que vous avez définie (ou celle par défaut du matériel, figurant sur celui-ci ou sur la documentation).

Sécurité

Chaque ordinateur connecté à Internet (et d'une manière plus générale à n'importe quel réseau informatique) est exposé à diverses menaces. Traiter en détail de l'ensemble de ces menaces et des remèdes possibles exigerait à lui seul un livre de belle taille (il en existe !). Nous aborderons ici rapidement les deux sources principales de menaces : celles provenant d'une connexion à Internet et celles liées aux réseaux sans fil. Si ces risques sont bien réels, des mesures simples permettent de s'en prémunir d'une façon extrêmement efficace.

La méthodologie généralement employée par les pirates informatiques consiste à scruter le réseau (en envoyant des paquets de données de manière aléatoire) à la recherche d'une machine connectée, puis à chercher une faille de sécurité afin de l'exploiter et d'accéder aux données s'y trouvant.

Cette menace est encore plus grande si la machine est connectée en permanence à Internet, et ce pour plusieurs raisons :

- La machine cible est susceptible d'être connectée sans pour autant être surveillée ;
- La machine cible est généralement connectée avec une plus large bande passante ;
- La machine cible ne change pas (ou peu) d'adresse IP.

Ainsi, il est nécessaire de se protéger des intrusions réseaux en installant un dispositif de protection. Nous allons d'abord examiner les menaces susceptibles de provenir d'Internet, génériquement regroupées sous le terme de logiciels malveillants ou maliciels (*malware*).

- **Virus** : un virus est un programme capable de s'installer de lui-même dans la mémoire d'un ordinateur, puis de se copier sur tout disque ou autre ordinateur relié par une quelconque liaison. C'est ce comportement similaire à celui d'un être vivant qui leur a fait attribuer le nom de virus. La plupart des virus proviennent aujourd'hui du Net, suite à la visite de certains sites ou par l'intermédiaire de courriels contaminés. Nombre de ces virus sont susceptibles de causer des dégâts très importants : effacement de fichiers, reformatage de disque dur, etc.
- **Cheval de Troie** : un cheval de Troie est un logiciel d'apparence légitime, mais conçu pour effectuer certaines actions à l'insu de l'utilisateur. Il diffère d'un virus informatique car il ne se reproduit pas par lui-même.
- **Logiciel espion** : les logiciels espion (*spyware*) ont pour but d'examiner les actions et habitudes de l'utilisateur. Les informations collectées sont ensuite retransmises sur le Net, afin d'être exploitées de différentes façons. Ils sont fréquemment dissimulés dans des logiciels proposés en version d'évaluation ou dans des gratuiciels, et s'installent à votre insu.
- **Logiciel publicitaire** : les logiciels publicitaires (*adware*) se contentent (!) généralement d'afficher des fenêtres publicitaires intempestives dans le navigateur. Plus pénibles que dangereux, ils sont également dissimulés dans des logiciels proposés en version d'évaluation ou dans des gratuiciels.

Heureusement, différents outils sont capables de dépister les différentes catégories de maliciels et d'éliminer tout danger potentiel. Si tous les tests effectués par divers organismes ont démontrés qu'aucun produit n'était d'une efficacité totale, 90 à 99% des menaces potentielles peuvent néanmoins être bloquées grâce à eux. Plutôt que d'éliminer les menaces après qu'elles aient pénétré votre ordinateur, la première méthode consiste à tenter de leur en interdire l'accès : tel est le but d'un pare-feu.

Pare-feu

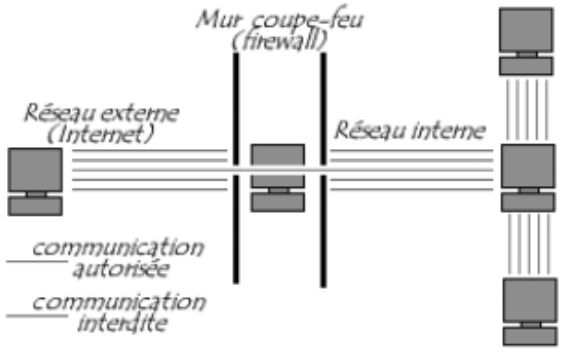
Un **pare-feu** (*coupe-feu*, *garde-barrière* ou **firewall**) est un système permettant de protéger un ordinateur ou un réseau d'ordinateurs des intrusions provenant d'un réseau tiers (notamment Internet).

Le pare-feu est un système permettant de filtrer les paquets de données échangés avec le réseau ; il s'agit ainsi d'une passerelle filtrante comportant au minimum les interfaces réseau suivantes : une interface pour le réseau à protéger (réseau interne) et une interface pour le réseau externe.

Le système firewall est un système logiciel, reposant parfois sur un matériel réseau dédié, constituant un intermédiaire entre le réseau local (ou la machine locale) et un ou plusieurs réseaux externes. Il est possible de mettre un système pare-feu sur n'importe quelle machine et avec n'importe quel système pourvu que :

- La machine soit suffisamment puissante pour traiter le trafic ;
- Le système soit sécurisé ;
- Aucun autre service que le service de filtrage de paquets ne fonctionne sur le serveur.

Si le système pare-feu est fourni dans une boîte noire « clé en main », on utilise le terme d'**appliance**.



Fonctionnement

Un système pare-feu contient un ensemble de règles prédéfinies permettant :

- D'autoriser la connexion (*allow*)
- De bloquer la connexion (*deny*)
- De rejeter la demande de connexion sans avertir l'émetteur (*drop*)

L'ensemble de ces règles permet de mettre en œuvre une méthode de filtrage dépendant de la **politique de sécurité** adoptée par l'entité. On distingue habituellement deux types de politiques de sécurité permettant :

- soit d'autoriser uniquement les communications ayant été explicitement autorisées : « tout ce qui n'est pas explicitement autorisé est interdit ».
- soit d'empêcher les échanges qui ont été explicitement interdits.

La première méthode est sans nul doute la plus sûre, mais elle impose toutefois une définition précise et contraignante des besoins en communication.

Filtrage simple de paquets

Un système pare-feu fonctionne sur le principe du filtrage simple de paquets (stateless packet filtering). Il analyse les en-têtes de chaque paquet de données (datagramme) échangé entre une machine du réseau interne et une machine extérieure.

Ainsi, les paquets de données échangés entre une machine du réseau extérieur et une machine du réseau interne transitent par le pare-feu et possèdent les en-têtes suivants, systématiquement analysés par le firewall :

- adresse IP de la machine émettrice ;
- adresse IP de la machine réceptrice ;
- type de paquets (TCP, UDP, etc.) ;
- numéro de port[1].

Les adresses IP contenues dans les paquets permettent d'identifier la machine émettrice et la machine cible, tandis que le type de paquets et le numéro de port donnent une indication sur le type de services utilisé.

1. Un port est un numéro associé à un service ou une application réseau.

Exemple

Quelques règles de pare-feu :

Règle	Action	IP source	IP dest	Protocol	Port source	Port dest
1	Accept	192.168.10.20	194.154.192.3	tcp	any	25
2	Accept	any	192.168.10.3	tcp	any	80
3	Accept	192.168.10.0/24	any	tcp	any	80
4	Deny	any	any	any	any	any

Les ports reconnus (dont le numéro est compris entre 0 et 1023) sont associés à des services courants (les ports 25 et 110 sont par exemple associés au courrier électronique, et le port 80 au Web). La plupart des dispositifs pare-feu sont au minimum configurés de manière à filtrer les communications selon le port utilisé. Il est généralement conseillé de bloquer tous les ports qui ne sont pas indispensables (selon la politique de sécurité retenue).

Le port 23 est par exemple souvent bloqué par défaut par les dispositifs pare-feu car il correspond au protocole Telnet, permettant d'émuler un accès par terminal à une machine distante de manière à pouvoir exécuter des commandes à distance. Les données échangées par Telnet ne sont pas chiffrées, ce qui signifie qu'un individu est susceptible d'écouter le réseau et de voler les éventuels mots de passe circulant en clair. Les administrateurs lui préfèrent généralement le protocole SSH, réputé sûr et fournissant les mêmes fonctionnalités que Telnet.

❑ Filtrage dynamique

Le filtrage simple de paquets ne s'attache qu'à examiner les paquets IP indépendamment les uns des autres, ce qui correspond au niveau 3 du modèle OSI. Or, la plupart des connexions reposent sur le protocole TCP, qui gère la notion de session, afin d'assurer le bon déroulement des échanges. D'autre part, de nombreux services (le FTP par exemple) initient une connexion sur un port statique, mais ouvrent dynamiquement (c'est-à-dire de manière aléatoire) un port afin d'établir une session entre la machine faisant office de serveur et la machine cliente.

Ainsi, il est impossible avec un filtrage simple de paquets de prévoir les ports à laisser passer ou à interdire. Pour y remédier, le

système de filtrage dynamique de paquets est basé sur l'inspection des couches 3 et 4 du modèle OSI, permettant d'effectuer un suivi des transactions entre le client et le serveur. Le terme anglo-saxon est *stateful inspection* ou *stateful packet filtering* (traduisez filtrage de paquets avec état).

Un dispositif pare-feu de type stateful inspection est ainsi capable d'assurer un suivi des échanges, c'est-à-dire de tenir compte de l'état des anciens paquets pour appliquer les règles de filtrage. De cette manière, à partir du moment où une machine autorisée initie une connexion à une machine située de l'autre côté du pare-feu ; l'ensemble des paquets transitant dans le cadre de cette connexion seront implicitement acceptés par le pare-feu.

Si le filtrage dynamique est plus performant que le filtrage de paquets basique, il ne protège pas pour autant de l'exploitation des failles applicatives, liées aux vulnérabilités des applications. Or ces vulnérabilités représentent la part la plus importante des risques en terme de sécurité.

❑ Filtrage applicatif

Le filtrage applicatif permet de filtrer les communications application par application. Il opère donc au niveau 7 (couche application) du modèle OSI, contrairement au filtrage de paquets simple (niveau 4), et suppose donc une connaissance des protocoles utilisés par chaque application.

Un firewall effectuant un filtrage applicatif est appelé généralement passerelle applicative ou proxy, car il sert de relais entre deux réseaux en s'interposant et en effectuant une validation fine du contenu des paquets échangés. Le proxy représente donc un intermédiaire entre les machines du réseau interne et le réseau externe, subissant les attaques à leur place. De plus, le filtrage applicatif permet la destruction des en-têtes précédant le message applicatif, ce qui permet de fournir un niveau de sécurité supplémentaire.

Il s'agit d'un dispositif performant, assurant une bonne protection du réseau, pour peu qu'il soit correctement administré. En contrepartie, une analyse fine des données applicatives requiert une grande puissance de calcul et se traduit donc souvent par un ralentissement des communications, chaque paquet devant être finement analysé.

Par ailleurs, le proxy doit nécessairement être en mesure d'interpréter une vaste gamme de protocoles et de connaître les failles afférentes pour être efficace.

Enfin, un tel système peut potentiellement comporter une vulnérabilité dans la mesure où il interprète les requêtes qui transitent par son biais. Ainsi, il est recommandé de dissocier le pare-feu (dynamique ou non) du proxy, afin de limiter les risques de compromission.

Pare-feu personnel

Si la plupart des routeurs et boxes disposent d'un pare-feu intégré qui assure déjà une certaine protection du réseau, il est préférable de la compléter par un pare-feu installé sur chaque ordinateur. Il est alors utilisé le terme de pare-feu personnel.

Ainsi, un firewall personnel permet de contrôler l'accès au réseau des applications installées sur la machine, et notamment d'empêcher les attaques du type cheval de Troie, c'est-à-dire des programmes nuisibles ouvrant une brèche dans le système afin de permettre une prise en main à distance de la machine par un pirate informatique. Le firewall personnel permet en effet de repérer et d'empêcher l'ouverture non sollicitée de la part d'applications non autorisées à se connecter.

❑ Limites des pare-feu

Les firewalls n'offrent une protection que dans la mesure où l'ensemble des communications vers l'extérieur passe systématiquement par leur intermédiaire et qu'ils sont correctement configurés. Ainsi, les accès au réseau extérieur par contournement du firewall sont autant de failles de sécurité. C'est notamment le cas des connexions effectuées à partir du réseau interne à l'aide d'un modem ou de tout moyen de connexion échappant au contrôle du pare-feu.

De la même manière, l'introduction de supports de stockage provenant de l'extérieur sur des machines internes au réseau ou bien d'ordinateurs portables peut porter fortement préjudice à la politique de sécurité globale.

Enfin, afin de garantir un niveau de protection maximal, il est nécessaire d'administrer le pare-feu et notamment de surveiller

son journal d'activité afin d'être en mesure de détecter les tentatives d'intrusion et les anomalies. Par ailleurs, il est recommandé d'effectuer une veille de sécurité (en s'abonnant aux alertes de sécurité des CERT par exemple) afin de modifier le paramétrage de son dispositif en fonction de la publication des alertes.

La mise en place d'un firewall doit donc se faire en accord avec une véritable politique de sécurité.

Le **pare-feu Windows**, présent dans les systèmes d'exploitation Windows récents, est un strict minimum. Il gagne à être combiné avec un autre produit, comme, par exemple, le produit gratuit ZoneAlarm ou un des produits des suites commerciales de sécurité.

Autres produits

De nombreux antivirus sont disponibles sous forme de produits commerciaux (AVK 2009, F-Secure 2009, Norton I.S. 2009 de Symantec, Security Suite 2.5 de Sophos) ou de *sharewares* (Avira, Avast Home, AVG, Antir Personnal Édition, etc.), certains étant parfois présents dans le kit logiciel qui accompagne un ordinateur neuf.

Remarquez également que ces produits sont généralement incompatibles entre eux : n'installez jamais simultanément plusieurs antivirus sur votre ordinateur !

Il existe également des produits anti-logiciels espions et anti-logiciels publicitaires tant commerciaux que gratuits. Depuis Windows Vista, vous disposez automatiquement de **Windows Defender**, un produit qui, s'il n'est pas parfait, procure déjà une protection de base capable d'empêcher l'installation de l'immense majorité de ces menaces.

Sécurisation d'un réseau WiFi

Comme signalé précédemment, les risques liés à la mauvaise protection d'un réseau sans fil sont multiples :

- **Interception de données** consistant à écouter les transmissions des différents utilisateurs du réseau sans fil.
- **Détournement de connexion** dont le but est d'obtenir l'accès à un réseau local ou à Internet.
- **Brouillage des transmissions** consistant à émettre des signaux radio de manière à produire des interférences.
- **Dénis de service** rendant le réseau inutilisable en envoyant des commandes factices.

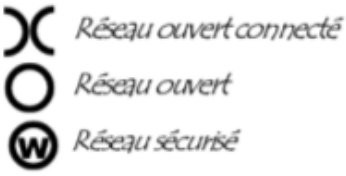
Interception de données

Par défaut, un réseau sans fil est non sécurisé : il est ouvert à tous et toute personne se trouvant dans le rayon de portée d'un point d'accès peut potentiellement écouter toutes les communications circulant sur le réseau.

❑ War driving

Étant donné qu'il est très facile d'« écouter » des réseaux sans fils, une pratique venue tout droit des États-Unis consiste à circuler dans la ville avec un ordinateur portable (voire un assistant personnel) équipé d'une carte réseau sans fil à la recherche de réseaux sans fil, il s'agit du **war driving** (parfois noté *war-driving, wardriving* ou *war-Xing* pour *war crossing*). Des logiciels spécialisés dans ce type d'activité permettent même d'établir une cartographie très précise en exploitant un matériel de géolocalisation (GPS, *Global Positionning System*).

Les cartes établies permettent ainsi de mettre en évidence les réseaux sans fil déployés non sécurisés, offrant même parfois un accès à Internet ! De nombreux sites capitalisant ces informations ont vu le jour sur Internet, si bien que des étudiants londoniens ont eu l'idée d'inventer un « langage des signes » dont le but est de rendre visible les réseaux sans fil en dessinant à même le trottoir des symboles à la craie indiquant la présence d'un réseau *wireless*, il s'agit du **war chalking** (francisé en *craieFiti* ou *craie-fiti*).



❑ Intrusion réseau

Lorsqu'un point d'accès est installé sur le réseau local, il permet aux stations d'accéder au réseau filaire et éventuellement à Internet si le réseau local y est relié. Un réseau sans fil non sécurisé représente de cette façon un point d'entrée royal pour le pirate au réseau interne lié.

Outre le vol ou la destruction d'informations présentes sur le réseau et l'accès à Internet gratuit pour le pirate, le réseau sans fil peut également représenter une aubaine pour ce dernier dans le but de mener des attaques sur Internet. En effet étant donné qu'il n'y a aucun moyen d'identifier le pirate sur le réseau, le propriétaire du réseau sans fil risque d'être tenue responsable de l'attaque.

❑ Brouillage radio

Les ondes radio sont très sensibles aux interférences. Un signal peut facilement être brouillé par une émission radio ayant une fréquence proche de celle utilisée dans le réseau sans fil. Un simple four à micro-ondes peut ainsi rendre totalement inopérable un réseau sans fil lorsqu'il fonctionne dans le rayon d'action d'un point d'accès.

❑ Dénis de service

La méthode d'accès au réseau de la norme 802.11 est basée sur le protocole CSMA/CA, consistant à attendre que le réseau soit libre avant d'émettre. Une fois la connexion établie, une station doit s'associer à un point d'accès afin de pouvoir lui envoyer des paquets. Ainsi, les méthodes d'accès au réseau et d'association étant connus, il est simple pour un pirate d'envoyer des paquets demandant la désassociation de la station. Il s'agit d'un **déni de service**, c'est-à-dire un envoi d'informations destiné à perturber volontairement le fonctionnement du réseau sans fil.

Une infrastructure adaptée

La première chose à faire lors de la mise en place d'un réseau sans fil est de positionner intelligemment les points d'accès selon la zone que l'on souhaite couvrir. Il n'est toutefois pas rare que la zone effectivement couverte soit largement plus grande que souhaitée, auquel cas il est possible de réduire la puissance de la borne d'accès afin d'adapter sa portée à la zone à couvrir.

❑ Éviter les valeurs par défaut

Lors de la première installation d'un point d'accès, celui-ci est configuré avec des valeurs par défaut, y compris en ce qui concerne le mot de passe de l'administrateur. Un grand nombre d'administrateurs en herbe considèrent qu'à partir du moment où le réseau fonctionne il est inutile de modifier la configuration du point

d'accès. Toutefois les paramètres par défaut sont tels que la sécurité est minimale. Il est donc impératif de se connecter à l'interface d'administration pour modifier le mot de passe d'administration.

D'autre part, afin de se connecter à un point d'accès, il est indispensable de connaître l'identifiant du réseau (SSID). Ainsi, il est vivement conseillé de modifier le nom du réseau par défaut et de désactiver la diffusion (*broadcast*) de ce dernier sur le réseau. Le changement de l'identifiant réseau par défaut est d'autant plus important qu'il peut donner aux pirates des éléments d'information sur la marque ou le modèle du point d'accès utilisé.

❑ Filtrage des adresses MAC

Chaque adaptateur réseau possède une adresse physique, appelée adresse MAC, qui lui est propre. Cette adresse est représentée par 12 chiffres hexadécimaux groupés par paires et séparés par des tirets.

Les points d'accès permettent généralement dans leur interface de configuration de gérer une liste de droits d'accès, appelée ACL (*Access Control List*), fondée sur les adresses MAC des équipements autorisés à se connecter au réseau sans fil. Cette précaution un peu contraignante permet de limiter l'accès au réseau à un certain nombre de machines. En contrepartie cela ne résout pas le problème de la confidentialité des échanges.

❑ WEP

Pour remédier aux problèmes de confidentialité des échanges sur les réseaux sans fil, le standard 802.11 intègre un mécanisme simple de chiffrement des données, il s'agit du WEP (Wired equivalent privacy).

Le WEP est un protocole chargé du chiffrement des trames 802.11 utilisant l'algorithme symétrique RC4 avec des clés d'une longueur de 64 ou 128 bits. Le principe du WEP consiste à définir dans un premier temps une clé secrète de 40 ou 128 bits, déclarée au niveau du point d'accès et des clients. La clé sert à créer un nombre pseudo-aléatoire d'une longueur égale à la longueur de la trame. Chaque transmission de donnée est ainsi chiffrée en utilisant le nombre pseudo-aléatoire comme masque grâce à un *OU Exclusif* entre le nombre pseudo- aléatoire et la trame.

La clé de session partagée par toutes les stations est statique, c'est-à-dire que pour déployer un grand nombre de stations WiFi il est nécessaire de les configurer en utilisant la même clé de session. Ainsi la connaissance de la clé est suffisante pour déchiffrer les communications.

Le WEP n'est pas suffisant pour garantir une réelle confidentialité des données. Il est toutefois vivement conseillé de mettre au moins en œuvre une protection WEP 128 bits afin d'assurer un niveau de confidentialité minimum et d'éviter de cette façon 90% des risques d'intrusion.

❑ Améliorer l'authentification

Afin de gérer plus efficacement les authentifications, les autorisations et la gestion des comptes utilisateurs (AAA, *Authentication, Authorization and Accounting*), il est possible de recourir à un serveur RADIUS (*Remote Authentication DialIn User Service*). Le protocole RADIUS (défini par les RFC 2865 et 2866) est un système client/serveur permettant de gérer de façon centralisée les comptes des utilisateurs et les droits d'accès associés.

❑ WPA

Le WPA (*WiFi Protected Access*) est une version « allégée » du protocole 802.11i, reposant sur des protocoles d'authentification et un algorithme de cryptage robuste : TKIP *(Temporary Key Integrity Protocol*). Le protocole TKIP permet la génération aléatoire de clés et offre la possibilité de modifier la clé de chiffrement plusieurs fois par secondes, pour plus de sécurité.

Le fonctionnement de WPA repose sur la mise en œuvre d'un serveur d'authentification (la plupart du temps un serveur RADIUS), permettant d'identifier les utilisateurs sur le réseau et de définir leurs droits d'accès. Néanmoins, il est possible pour les petits réseaux de mettre en œuvre une version restreinte du WPA, appelée **WPA-PSK**, en déployant une même clé de chiffrement dans l'ensemble des équipements, ce qui évite la mise en place d'un serveur RADIUS.

Le WPA (dans sa première mouture) ne prend en charge que les réseaux en mode infrastructure, ce qui signifie qu'il ne permet pas de sécuriser des réseaux sans fil d'égal à égal (mode ad-hoc).

❑ WPA2 - 802.11i

Le 802.11i a été ratifié le 24 juin 2004, afin de fournir une solution de sécurisation poussée des réseaux WiFi. Il s'appuie sur l'algorithme de chiffrement TKIP, comme le WPE, mais supporte également l'AES (*Advanced Encryption Standard*), beaucoup plus sûr.

La Wi-Fi Alliance a ainsi créé une nouvelle certification, baptisée **WPA2**, pour les matériels supportant le standard 802.11i. Contrairement au WPA, le WPA2 permet de sécuriser aussi bien les réseaux sans fil en mode infrastructure que les réseaux en mode ad-hoc.

❑ Architectures WPA

La norme IEEE 802.11i définit deux modes de fonctionnement :

- **WPA Personal** : il permet de mettre en œuvre une infrastructure sécurisée basée sur le WPA sans utiliser de serveur d'authentification. Le WPA personnel repose sur l'utilisation d'une clé partagée, appelée **PSK** (*Pre-shared Key*), renseignée dans le point d'accès ainsi que dans les postes clients. Contrairement au WEP, il n'est pas nécessaire de saisir une clé de longueur prédéfinie. En effet, le WPA permet de saisir une *passphrase* (phrase secrète), traduite en PSK par un algorithme de hachage.
- **WPA Enterprise** : il impose l'utilisation d'une infrastructure d'authentification 802.1x basée sur l'utilisation d'un serveur d'authentification, généralement un serveur RADIUS, et d'un contrôleur réseau (le point d'accès)

Pour en savoir plus

Référez-vous à la présentation du WPA2 par la Wi-Fi Alliance :
http://www.wi-fi.org/OpenSection/protected_access.asp

❑ 802.1x

Le standard 802.1x est une solution de sécurisation, mise au point par l'IEEE en juin 2001, permettant d'authentifier (identifier) un utilisateur souhaitant accéder à un réseau (filaire ou non) grâce à un serveur d'authentification. Le 802.1x repose sur le protocole EAP

(*Extensible Authentication Protocol*), défini par l'IETF, dont le rôle est de transporter les informations d'identification des utilisateurs.

À savoir

Outre l'authentification des utilisateurs, le standard 802.1x est un support permettant de changer les clés de chiffrement des utilisateurs de manière sécurisé, afin d'améliorer la sécurité globale.

Protocole EAP

Le fonctionnement du protocole **EAP** est basé sur l'utilisation d'un **contrôleur d'accès** (*authenticator*), chargé d'établir ou non l'accès au réseau pour un **utilisateur** (*supplicant*). Le contrôleur d'accès est un simple garde-barrière servant d'intermédiaire entre l'utilisateur et un **serveur d'authentification** (*authentication server*), il ne nécessite que très peu de ressources pour fonctionner. Dans le cas d'un réseau sans fil, c'est le point d'accès qui joue le rôle de contrôleur d'accès.

Le **serveur d'authentification** (appelé parfois NAS, *Network Authentification Service*, traduisez *service d'authentification réseau*, ou *Network Access Service* pour *serveur d'accès réseau*) permet de valider l'identité de l'utilisateur, transmis par le contrôleur réseau, et de lui renvoyer les droits associés en fonction des informations d'identification fournies.

De plus, un tel serveur permet de stocker et de comptabiliser des informations concernant les utilisateurs afin, par exemple, de pouvoir les facturer à la durée ou au volume (dans le cas d'un fournisseur d'accès par exemple).

La plupart du temps le serveur d'authentification est un **serveur RADIUS**, un serveur d'authentification standard défini par les RFC 2865 et 2866, mais tout autre service d'authentification peut être utilisé.

Ainsi, le schéma global suivant récapitule le fonctionnement global d'un réseau sécurisé avec le standard 802.1x :

- Le contrôleur d'accès, ayant préalablement reçu une demande de connexion de la part de l'utilisateur, envoie une requête d'identification.
- L'utilisateur envoie une réponse au contrôleur d'accès, qui la fait suivre au serveur d'authentification.
- Le serveur d'authentification envoie un « challenge » au contrôleur d'accès, qui le transmet à l'utilisateur. Le challenge est une méthode d'identification. Si le client ne gère pas la méthode, le serveur en propose une autre et ainsi de suite.
- L'utilisateur répond au challenge. Si l'identité de l'utilisateur est correcte, le serveur d'authentification envoie un accord au contrôleur d'accès, qui acceptera l'utilisateur sur le réseau ou à une partie du réseau, selon ses droits. Si l'identité de l'utilisateur n'a pas pu être vérifiée, le serveur d'authentification envoie un refus et le contrôleur d'accès refusera à l'utilisateur d'accéder au réseau.

Protocoles de sécurisation

Notion de réseau privé virtuel (VPN)

Les réseaux locaux d'entreprise (LAN ou RLE) sont des réseaux internes à une organisation, c'est-à-dire que les liaisons entre machines appartiennent à l'organisation. Ces réseaux sont de plus en plus souvent reliés à Internet par l'intermédiaire d'équipements d'interconnexion. Il arrive ainsi souvent que des entreprises éprouvent le besoin de communiquer avec des filiales, des clients ou même du personnel géographiquement éloigné via Internet.

Pour autant, les données transmises sur Internet sont beaucoup plus vulnérables que lorsqu'elles circulent sur un réseau interne à une organisation car le chemin emprunté n'est pas défini à l'avance, ce qui signifie que les données empruntent une infrastructure réseau publique appartenant à différents opérateurs. Ainsi, il n'est pas impossible que sur le chemin parcouru, le réseau soit écouté par un utilisateur indiscret ou même détourné. Il n'est donc pas concevable de transmettre dans de telles conditions des informations sensibles pour l'organisation ou l'entreprise.

Une solution pour répondre à ce besoin de communication sécurisée consiste à relier les réseaux distants à l'aide de liaisons spécialisées. Toutefois la plupart des entreprises ne peuvent pas se permettre de relier deux réseaux locaux distants par une ligne spécialisée, aussi est-il parfois nécessaire d'utiliser Internet comme support de transmission.

Un bon compromis consiste à utiliser Internet comme support de transmission en utilisant un **protocole d'encapsulation** (*tunneling*, d'où l'utilisation impropre parfois du terme « tunnelisation »), qui transmet les données de façon chiffrée. On parle alors de **réseau privé virtuel** (RPV ou **VPN**, *Virtual Private Network*) pour désigner le réseau ainsi artificiellement créé. Ce réseau est dit **virtuel** car il relie deux réseaux physiques (réseaux locaux) par une liaison non fiable (Internet), et **privé** car seuls les ordinateurs des réseaux locaux de part et d'autre du VPN peuvent « voir » les données.

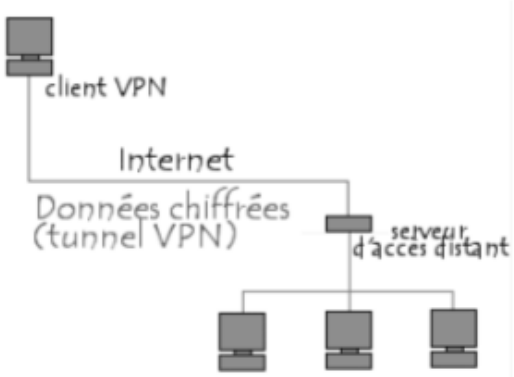
Le système de VPN permet donc d'obtenir une liaison sécurisée à moindre coût, mais il n'assure pas une qualité de service comparable à une ligne louée dans la mesure où le réseau physique est public et donc non garanti.

Fonctionnement d'un VPN

Un réseau privé virtuel repose sur un protocole, appelé protocole d'encapsulation (*tunneling*), c'est-à-dire un protocole permettant aux données passant d'une extrémité du VPN à l'autre d'être sécurisées par des algorithmes de cryptographie.

Le terme de « tunnel » est utilisé pour symboliser le fait qu'entre l'entrée et la sortie du VPN les données sont chiffrées (cryptées) et donc incompréhensibles pour toute personne située entre les deux extrémités du VPN, comme si les données passaient dans un tunnel.

Dans le cas d'un VPN établi entre deux machines, on appelle **client VPN** l'élément permettant de chiffrer et de déchiffrer les données du côté utilisateur (client) et **serveur VPN** (ou plus généralement *serveur d'accès distant*) l'élément chiffrant et déchiffrant les données du côté de l'organisation.



De cette façon, lorsqu'un utilisateur nécessite d'accéder au réseau privé virtuel, sa requête va être transmise en clair au système passerelle, qui va se connecter au réseau distant par l'intermédiaire d'une infrastructure de réseau public, puis va transmettre la requête de façon chiffrée. L'ordinateur distant va alors fournir les données au serveur VPN de son réseau local qui va transmettre la réponse de façon chiffrée. À réception sur le client VPN de l'utilisateur, les données seront déchiffrées, puis transmises à l'utilisateur...

Protocoles de tunnelisation

Les principaux protocoles de tunnelisation sont les suivants :

- **PPTP** (*Point-to-Point Tunneling Protocol*) est un protocole de niveau 2 développé par Microsoft, 3Com, Ascend, US Robotics et ECI Telematics.
- **L2F** (*Layer Two Forwarding*) est un protocole de niveau 2 développé par Cisco, Northern Telecom et Shiva. Il est désormais quasi-obsolète.
- **L2TP** (*Layer Two Tunneling Protocol*) est l'aboutissement des travaux de l'IETF (RFC 2661) pour faire converger les fonctionnalités de PPTP et L2F. Il s'agit ainsi d'un protocole de niveau 2 s'appuyant sur PPP.
- **IPSec** est un protocole de niveau 3, issu des travaux de l'IETF, permettant de transporter des données chiffrées pour les réseaux IP.

❑ Protocole PPTP

Le principe du protocole PPTP (*Point To Point Tunneling Protocol*) est de créer des trames sous le protocole PPP et de les encapsuler dans un datagramme IP. Ainsi, dans ce mode de connexion, les machines distantes des deux réseaux locaux sont connectées par une connexion point à point (comprenant un système de chiffrement et d'authentification), et le paquet transite au sein d'un datagramme IP.

De cette façon, les données du réseau local (ainsi que les adresses des machines présentes dans l'en-tête du message) sont encapsulées dans un message PPP, qui est lui-même encapsulé dans un message IP.

❑ Protocole L2TP

Le protocole L2TP est un protocole standard de tunnelisation très proche de PPTP. Ainsi le protocole L2TP encapsule des trames protocole PPP, encapsulant elles-mêmes d'autres protocoles (tels que IP, IPX ou encore NetBIOS).

❑ Protocole IPSec

Le protocole IPSec est un protocole défini par l'IETF permettant de sécuriser les échanges au niveau de la couche Réseau. Il s'agit en fait d'un protocole apportant des améliorations au niveau de la sécurité au protocole IP afin de garantir la confidentialité, l'intégrité et l'authentification des échanges. Le protocole IPSec est basé sur trois modules :

- *IP Authentification Header* (**AH**) qui concerne l'intégrité, l'authentification et la protection contre le rejeu[1] des paquets à encapsuler.
- *Encapsulating Security Payload* (**ESP**) qui définit le chiffrement de paquets. ESP fournit la confidentialité, l'intégrité, l'authentification et la protection contre le rejeu.

- *Security Assocation* (**SA**) qui définit l'échange des clés et des paramètres de sécurité. Les SA rassemblent ainsi l'ensemble des informations sur le traitement à appliquer aux paquets IP (les protocoles AH et/ou ESP, mode tunnel ou transport, les algorithmes de sécurité utilisés par les protocoles, les clés utilisées…). L'échange des clés se fait soit de manière manuelle, soit avec le protocole d'échange IKE (la plupart du temps) qui permet aux deux parties de s'entendre sur les SA.

Mise en place d'un VPN

La mise en place d'un **réseau privé virtuel** permet de connecter de façon sécurisée des ordinateurs distants au travers d'une liaison non fiable (Internet), comme s'ils étaient sur le même réseau local.

Ce procédé est utilisé par de nombreuses entreprises afin de permettre à leurs utilisateurs de se connecter au réseau d'entreprise hors de leur lieu de travail. On peut facilement imaginer un grand nombre d'applications possibles :

- Accès au réseau local (d'entreprise) à distance et de façon sécurisée pour les travailleurs nomades.
- Partage de fichiers sécurisés.
- Jeu en réseau local avec des machines distantes…

Windows permet depuis Windows XP de gérer nativement des réseaux privés virtuels de petite taille, convenant pour des réseaux de petites entreprises ou familiaux (appelés SOHO, *Small Office/Home Office*). Ainsi pour mettre en place un réseau privé virtuel il suffit d'installer au niveau du réseau local un serveur d'accès distant (serveur VPN) accessible depuis Internet et de paramétrer chaque client pour lui permettre de s'y connecter.

❑ Installation du serveur VPN

Dans notre exemple nous admettrons que la machine destinée à faire office de serveur VPN sur le réseau local possède deux inter-

1. Les attaques par « rejeu » (*replay attaque*) sont des attaques de type « Man in the middle » consistant à intercepter des paquets de données et à les rejouer, c'est-à-dire les retransmettre tels quel (sans aucun déchiffrement) au serveur destinataire.

faces : une vers le réseau local (une carte réseau par exemple) et une vers Internet (une connexion ADSL ou une connexion par câble par exemple). C'est *via* son interface connectée à Internet que les clients VPN se connecteront au réseau local.

Afin de permettre à cette machine de gérer des réseaux privés virtuels, il suffit d'ouvrir l'élément *Connexions réseau* (*Network Connection*) dans le *Panneau de configuration*. Dans la fenêtre ainsi ouverte, double-cliquez sur *Assistant de nouvelle connexion* (*New connection wizard*).

Appuyez ensuite sur la touche *Suivant*.

Parmi les trois choix proposés dans la fenêtre, sélectionnez *Configurer une connexion avancée*.

Dans l'écran suivant sélectionnez *Accepter les connexions entrantes*.

L'écran suivant présente des périphériques à sélectionner pour une connexion directe. Il se peut qu'aucun périphérique ne soit proposé. Sauf besoin particulier vous n'aurez pas besoin d'en sélectionner.

Dans la fenêtre suivante sélectionnez Autoriser les connexions privées virtuelles.

Une liste des utilisateurs du système apparaît, il suffit de sélectionner ou ajouter les utilisateurs autorisés à se connecter au serveur VPN.

Sélectionnez ensuite la liste des protocoles autorisés *via* le VPN.

Un clic sur le bouton *Propriétés* associé au protocole TCP/IP permet de définir les adresses IP que le serveur affecte au client pour toute la durée de la session. Si le réseau local sur lequel se trouve le serveur ne possède pas d'adressage spécifique vous pouvez laisser le serveur déterminer automatiquement une adresse IP. Par contre si le réseau possède un plan d'adressage spécifique vous pouvez définir la plage d'adresse à affecter.

La configuration du serveur VPN est désormais achevée, vous pouvez cliquer sur le bouton *Terminer*.

❑ Installation du client VPN

Afin de permettre à un client de se connecter à votre serveur VPN, il est nécessaire de définir tous les paramètres de connexion (adresse du serveur, protocoles à utiliser…). L'assistant de nouvelle connexion disponible à partir de l'icône Connexions réseau du panneau de configuration permet cette configuration.

Appuyez ensuite sur la touche *Suivant*.

Parmi les trois choix proposés dans la fenêtre, sélectionnez *Connexion au réseau d'entreprise*.

Dans l'écran suivant sélectionnez *Connexion réseau privé virtuel*.

Entrez ensuite un nom décrivant au mieux le nom du réseau privé virtuel auquel vous souhaitez vous connecter.

L'écran suivant permet d'indiquer si une connexion doit être établie préalablement à la connexion au réseau privé virtuel. La plupart du temps (si vous êtes sur une connexion permanente, un accès ADSL ou câble) il ne sera pas nécessaire d'établir la connexion puisque l'ordinateur est déjà connecté à Internet, dans le cas contraire sélectionnez la connexion à établir dans la liste.

Afin d'accéder au serveur d'accès distant (serveur VPN ou hôte), il est indispensable de spécifier son adresse (adresse IP ou nom d'hôte). Si celui-ci ne possède pas une adresse IP fixe, il sera nécessaire de l'équiper d'un dispositif de nommage dynamique (*DynDNS*) capable de lui affecter un nom de domaine et de spécifier ce nom dans le champ adéquat.

Une fois la définition de la connexion VPN terminée, une fenêtre de connexion demandant un nom d'utilisateur (*login*) et un mot de passe s'ouvre à vous.

Avant de se connecter il est nécessaire de procéder à quelques réglages en cliquant sur le bouton *Propriétés* en bas de fenêtre. Une fenêtre comportant un certain nombre d'onglets permet ainsi de paramétrer plus finement la connexion. Dans l'onglet *Gestion de réseau* sélectionnez le protocole PPTP dans la liste déroulante, sélectionnez ensuite le *protocole Internet* (TCP/IP) et cliquez sur *Propriétés*.

La fenêtre s'affichant permet de définir l'adresse IP que la machine cliente aura lors de la connexion au serveur d'accès distant. Cela

permet d'avoir un adressage cohérent avec l'adressage distant. Ainsi le serveur VPN est capable de faire office de serveur DHCP, c'est-à-dire de fournir automatiquement une adresse valide au client VPN. Pour ce faire il suffit de sélectionner l'option *Obtenir une adresse automatiquement*.

Dans le cas où le client utilise le DHCP, si le serveur affecte une adresse IP interne, le client sera connecté au réseau d'entreprise et bénéficiera des services de celui-ci mais n'aura plus accès à Internet *via* l'interface utilisée car l'adresse IP n'est pas routable. Afin de permettre au client d'être connecté au VPN tout en ayant accès à Internet à travers cette connexion il faut que le serveur VPN soit configuré de manière à partager sa connexion à Interne ! Ainsi le bouton *Avancé* permet de faire en sorte que le client utilise la passerelle du serveur VPN **dans le cas où ce dernier partage sa connexion**.

Pour en savoir plus

Pour plus d'informations sur les réseaux privés virtuels, n'hésitez pas à consulter la page dédiée à ce sujet sur CCM :
http://www.commentcamarche.net/initiation/vpn.php3

Pour toute question, vous pouvez utiliser le forum de CCM :
http://www.commentcamarche.net/forum/

Dépannage réseau

Les réseaux informatiques sont par nature complexes car leur administration demande des compétences sur un grand nombre de domaines. Par ailleurs la multiplicité des protocoles, des systèmes d'exploitation et des équipements rend leur gestion compliquée.

La phrase la plus souvent entendue par un administrateur réseau est « Ca ne marche pas ! ». Malheureusement, ce type d'information ne mène pas à grand chose…

Grossièrement, vous entendez cette phrase lorsque l'utilisateur rencontre un problème de **connectivité réseau** : il peut travailler normalement avec l'ordinateur local, accéder à ses fichiers et à ses applications, mais est incapable d'accéder :

- À une, plusieurs ou toutes les ressources du réseau local ;
- À une, plusieurs ou toutes les ressources du réseau extérieur, Internet ;
- À aucune ressource située à l'extérieur de l'ordinateur local.

Il est capital d'identifier le problème : chacun de ces cas, et même chaque sous-catégorie, peut être dû à un élément précis. Le réseau lui-même peut ne jamais être en cause.

Heureusement, la plupart des systèmes d'exploitation proposent des **outils d'administration réseau** rudimentaires ou sophistiqués permettant d'effectuer les quelques tests indispensables lors de la mise en réseau d'une nouvelle machine ou lors d'une panne globale du réseau, pour déterminer d'où proviennent les éventuels problèmes.

Outils de dépannage réseau

Ipconfig et ifconfig

Ces deux utilitaires, ipconfig pour Windows et ifconfig pour Linux, sont réellement les outils de base du travail en réseau. Ils fournissent des informations des plus précieuses, qui peuvent vous faire gagner un temps précieux lors de la résolution d'un problème. Vous devriez toujours examiner la sortie de l'utilitaire concerné préalablement à toute autre étape de dépannage : la solution y est souvent évidente.

Ipconfig (ipconfig.exe) est très précieux pour le dépannage des problèmes de configuration IP, savoir si DHCP ou APIPA (*Automatic Private IP Addressing*) est employé et libérer puis renouveler une configuration IP automatique.

Pour examiner les informations détaillées sur la configuration IP de l'ordinateur local, ouvrez une invite de commandes et exécutez la commande suivante :

```
ipconfig /all
```

La sortie d'une telle commande ressemble à ceci :

```
Configuration IP de Windows

        Nom de l'hôte . . . . . . . . . . . : CCM
        Suffixe DNS principal . . . . . . . :
        Type de noeud . . . . . . . . . . . : Hybride
        Routage IP activé . . . . . . . . . : Oui
        Proxy WINS activé . . . . . . . . . : Non

Carte Ethernet Connexion au réseau local:

        Statut du média . . . . . . . . . . : Média déconnecté
       Description . . . . . . . . . . . . : ULi PCI Fast Ethernet
                                              Controller
        Adresse physique . . . . . . . . .: 00-40-D0-7E-82-2E

Carte Ethernet Connexion réseau sans fil:

        Suffixe DNS propre à la connexion :
```

```
        Description . . . . . . . . . . . : Ralink RT2500 Wireless
                                            LAN Card
         Adresse physique . . . . . . . . .: 00-10-60-60-65-8C
         DHCP activé. . . . . . . . . . . : Oui
         Configuration automatique activée . . . . : Oui
         Adresse IP. . . . . . . . . . . . : 192.168.0.4
         Masque de sous-réseau . . . . . . : 255.255.255.0
       Adresse IP. . . . . . . . . . . . : fe80::210:60ff:fe60:658c%5
         Passerelle par défaut . . . . . . : 192.168.0.1
         Serveur DHCP. . . . . . . . . . . : 192.168.0.1
         Serveurs DNS . . . . . . . . . .  : 192.168.0.1
                                             fec0:0:0:ffff::1%1
                                             fec0:0:0:ffff::2%1
                                             fec0:0:0:ffff::3%1
         Serveur WINS principal. . . . . . : 192.168.0.1
         Bail obtenu . . . . . . . . . . . : mercredi 23 septembre
                                             2009 08:23:26
         Bail expirant . . . . . . . . . . : samedi 26 septembre
                                             2009 08:23:26
(...)
```

La sortie précédente indique que l'ordinateur possède deux interfaces réseau, dont une sans fil. Le nom de la machine sur le réseau est **CCM**. L'interface Ethernet reliée au réseau local (carte réseau) n'est pas active car le câble est débranché, en revanche l'adaptateur sans fil est configuré.

Les machines d'un même réseau doivent utiliser une même plage d'adresses (avec des adresses différentes) et un même masque réseau. Dans le cas d'un réseau local, reliant des machines n'ayant pas d'adresses IP routables, des plages d'adresses dites privées doivent être utilisées.

La passerelle par défaut désigne, le cas échéant, l'adresse IP de la machine offrant un accès à Internet.

L'utilitaire Linux iwconfig est similaire, mais ne concerne que les réseaux sans fil. Sa syntaxe est la suivante :

```
iwconfig nom_interface
```

La sortie fournit de nombreux détails sur l'état du périphérique spécifié, par exemple :

```
iwconfig eth0
```

```
eth0   IEEE 802.11-DS ESSID:"CCM" Nickname:"Prism 1"
       Mode:Managed Frequency:2.412GHz Acces Point:
00:02:2B:20:AB:4F
       Bit Rate:11Mb/s Tx-Power:15 dBm Sensivity:1/3
       RTS thr:off Fragment thr:off
       Encryption key:off
       Power Management:off
      Link Quality:92/92 Signal level:-11 dBm Noiselevel:-102 dBm
       Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
       Tx excessive retries:0 Invalid misc:4 Missed beacon:0
```

Cet exemple montre une connexion à 11 Mbits/s vers un réseau nommé CCM. Il est possible grâce à iwconfig de modifier de nombreux paramètres : reportez-vous à la page de manuel de iwconfig.

Nslookup

Nslookup (*Name System Look Up*) est un outil permettant d'interroger un serveur de noms afin d'obtenir les informations concernant un domaine ou un hôte et permet ainsi de diagnostiquer les éventuels problèmes de configuration du DNS.

Invoquée sans argument, la commande `nslookup` affiche le nom et l'adresse IP du serveur de noms primaire et affiche une invite de commande pour l'interrogation. Il suffit de taper le nom d'un domaine à l'invite afin d'en afficher les caractéristiques. Il est également possible de demander les informations sur un hôte en indiquant son nom à la suite de la commande `nslookup` :

```
nslookup host.name
```

Il est aussi possible d'interroger un serveur de noms spécifique en le spécifiant avec la suite de la commande précédée du signe « - » :

```
nslookup host.name -serveur.de.nom
```

Le mode d'interrogation de la commande `nslookup` est modifiable grâce à la clause `set` :

- `set type=mx` permet de recueillir les informations concernant le ou les serveurs de messagerie d'un domaine.

- `set type=ns` permet de recueillir les informations concernant le serveur de noms associé au domaine.
- `set type=a` permet de recueillir les informations concernant un hôte du réseau. Il s'agit du mode d'interrogation par défaut.
- `set type=soa` permet d'afficher les informations du champ SOA (*Start Of Authority*).
- `set type=cname` permet d'afficher les informations concernant les alias.
- `set type=hinfo` permet, lorsque ces données sont renseignées, d'afficher les informations concernant le matériel et le système d'exploitation de l'hôte.

Pour sortir de la commande `nslookup`, il suffit de taper `exit`.

PING

PING (*Packet INternet Groper*) est sans nul doute l'un des outils d'administration de réseau le plus connu. Il s'agit pourtant de l'un des outils les plus simples puisqu'il permet, grâce à l'envoi de paquets, de vérifier si une machine distante répond et, par extension, qu'elle est accessible par le réseau. L'outil PING permet ainsi de diagnostiquer la connectivité réseau grâce à une commande du type :

```
ping nom.de.la.machine
```

où `nom.de.la.machine` représente l'adresse IP de la machine ou son nom. Il est généralement préférable dans un premier temps de tester avec l'adresse IP de la machine.

Fonctionnement

PING s'appuie sur le protocole ICMP (*Internet Control Message Protocol*), permettant de **diagnostiquer** les conditions de transmissions. Il utilise ainsi deux types de messages du protocole (sur les 18 proposés par ICMP) :

- Le type 0 correspondant à une commande `echo request`, émis par la machine source.

- Le type 8 correspondant à une commande `echo reply`, émis par la machine cible.

À intervalles réguliers (par défaut chaque seconde), la machine source (celle sur laquelle la commande `ping` est exécutée) envoie une commande `echo request` à la machine cible. Dès réception du paquet `echo reply`, la machine source affiche une ligne contenant un certain nombre d'informations. En cas de non réception de la réponse, une ligne indiquant `délai dépassé` s'affichera.

Résultat

Suivant le système d'exploitation, l'affichage de la sortie d'une commande `ping` pourra être légèrement différent.

Voici le résultat d'une telle commande sous un système GNU/Linux :

```
ping www.commentcamarche.fr
PING www.commentcamarche.fr (163.5.255.85): 56 data bytes
64 bytes from 163.5.255.85: icmp_seq=0 ttl=56 time=7.7 ms
64 bytes from 163.5.255.85: icmp_seq=1 ttl=56 time=6.0 ms
64 bytes from 163.5.255.85: icmp_seq=2 ttl=56 time=5.5 ms
64 bytes from 163.5.255.85: icmp_seq=3 ttl=56 time=6.0 ms
64 bytes from 163.5.255.85: icmp_seq=4 ttl=56 time=5.3 ms
64 bytes from 163.5.255.85: icmp_seq=5 ttl=56 time=5.6 ms
64 bytes from 163.5.255.85: icmp_seq=6 ttl=56 time=7.0 ms
64 bytes from 163.5.255.85: icmp_seq=7 ttl=56 time=6.0 ms

--- www.commentcamarche.fr ping statistics ---
8 packets transmitted, 8 packets received, 0% packet loss
round-trip min/avg/max = 5.3/6.1/7.7 ms
```

Voici le résultat d'une telle commande sous un système Windows :

```
ping www.commentcamarche.fr
Envoi d'une requête 'ping' sur www.commentcamarche.fr
[163.5.255.85] avec 32 octets de données:
Réponse de 163.5.255.85 : octets=32 temps=34 ms TTL=54
Réponse de 163.5.255.85 : octets=32 temps=37 ms TTL=54
Réponse de 163.5.255.85 : octets=32 temps=32 ms TTL=54
Réponse de 163.5.255.85 : octets=32 temps=33 ms TTL=54

Statistiques Ping pour 163.5.255.85:
    Paquets : envoyés = 4, reçus = 4, perdus = 0 (perte 0%),
```

```
Durée approximative des boucles en millisecondes :
    Minimum = 32ms, Maximum = 37ms, Moyenne = 34ms
```

La sortie de la commande `ping` permet ainsi de connaître :

- L'**adresse IP** correspondant au nom de la machine distante.
- Le **numéro de séquence** ICMP.
- La **durée de vie** du paquet (TTL, *Time To Live*). Le champ de durée de vie (TTL) permet de connaître le nombre de routeurs traversés par le paquet lors de l'échange entre les deux machines. Chaque paquet IP possède un champ TTL positionné à une valeur relativement grande. À chaque passage d'un routeur, le champ est décrémenté. S'il arrive que le champ arrive à zéro, le routeur interprétera que le paquet tourne en boucle et le détruira.
- Le **temps de propagation en boucle** (*round-trip delay*) correspondant à la durée en millisecondes d'un aller-retour entre la machine source et la machine cible. Un paquet doit en règle générale posséder un temps de propagation inférieur à 200 ms.
- Le nombre de **paquets perdus**.

À savoir

Si vous possédez un pare-feu personnel, comme ZoneAlarm, une alerte peut vous demander lors de son premier emploi d'autoriser ping à accéder au réseau local (ou à Internet, selon le destinataire), comme le montre la figure suivante.

PathPing

PathPing (PathPing.exe) est un instrument précieux sur de grands réseaux, ou en cas d'impossibilité d'atteindre un hôte précis. PathPing peut aider au diagnostic de problèmes de résolution de nom, de connectivité réseau, de routage et de performance réseau. C'est pour cette raison que PathPing devrait être un des premiers outils à employer lors d'un dépannage réseau. PathPing est un outil en ligne de commande employé avec une syntaxe analogue à celles des outils Tracert et Ping.

Pour tester la connectivité vers un point de terminaison, ouvrez une invite de commandes et exécutez la commande suivante :

```
pathping destination
```

où `destination` peut être un nom d'hôte, un nom d'ordinateur ou une adresse IP.

Sortie de PathPing

PathPing affiche sa sortie en deux sections. La première section est immédiatement affichée et présente une liste numérotée de tous les périphériques qui ont répondu entre la source et la destination.

Le premier périphérique, numéroté 0, est l'hôte sur lequel s'exécute PathPing. PathPing tente d'obtenir le nom de chaque périphérique, comme montré ici :

```
Détermination de l'itinéraire vers http://www.commentcamar-
che.net [194.169.240.2
47]
avec un maximum de 30 sauts :
  0  mercure [192.168.0.20]
  1  192.168.0.10
  2  1.236.205-77.rev.gaoland.net [77.205.236.1]
  3  105.228.64-86.rev.gaoland.net [86.64.228.105]
  4     *     V3897.par1-co-1.n9uf.net [62.39.148.197]
  5  te-9-1.car2.Paris1.Level3.net [212.73.207.189]
  6  DIABOLOCOM.car2.Paris1.Level3.net [212.73.207.166]
  7  unassigned.commentcamarche.org [194.169.240.245]
  8  unassigned.commentcamarche.org [194.169.240.247]
```

L'option de commande –d permet d'accélérer l'affichage de PathPing en l'empêchant de tenter de résoudre le nom de chaque adresse intermédiaire de routeur.

La seconde section de la sortie PathPing commence avec le message « Traitement des statistiques pendant *xxx* seconds ». Le temps de calcul par PathPing des statistiques peut varier de quelques secondes à quelques minutes, selon le nombre de périphériques identifiés. Pendant ce temps, PathPing interroge chaque périphérique et calcule des statistiques de performance fondées sur la présence ou non d'une réponse du périphérique, et à quelle vitesse. Cette section ressemble à ce qui suit :

```
Traitement des statistiques pendant 200 secondes...
            Source vers ici  Ce noeud/lien
Saut RTT    Perdu/Envoyé =  Perdu/Envoyé =  Adresse
  0                                        mercure [192.168.0.20]
                                    0/ 100 =  0%   |
  1    0ms     0/ 100 =  0%     0/ 100 =  0%  192.168.0.10
                                    0/ 100 =  0%   |
  2   58ms     0/ 100 =  0%     0/ 100 =  0%  1.236.205-77.rev.gao-
land.net [77.2
05.236.1]
                                    0/ 100 =  0%   |
  3   64ms     0/ 100 =  0%     0/ 100 =  0% 105.228.64-86.rev.gao-
land.net [86.
64.228.105]
                                    0/ 100 =  0%   |
  4  114ms     0/ 100 =  0%     0/ 100 =  0%  V3897.par1-co-
1.n9uf.net [62.39.14
8.197]
                                    0/ 100 =  0%   |
  5   79ms     0/ 100 =  0%     0/ 100 =  0%  te-9-
1.car2.Paris1.Level3.net [212
.73.207.189]
                                    0/ 100 =  0%   |
  6   68ms     0/ 100 =  0%     0/ 100 =  0%  DIABOLO-
COM.car2.Paris1.Level3.net
[212.73.207.166]
                                    0/ 100 =  0%   |
  7   67ms     0/ 100 =  0%     0/ 100 =  0%  unassigned.comment-
camarche.org [19
4.169.240.245]
                                    0/ 100 =  0%   |
  8   67ms     0/ 100 =  0%     0/ 100 =  0%  unassigned.comment-
camarche.org [19
4.169.240.247]

Itinéraire déterminé.
```

La sortie de PathPing permet souvent d'identifier rapidement la source de problèmes de connectivité tel qu'un problème de résolution de nom, de routage, de performance ou lié à la connectivité. L'emploi de PathPing permet aussi d'examiner les problèmes de connectivité active de la couche réseau et en dessous.

PathPing permet de détecter les boucles de routage, c'est-à-dire lorsque le trafic est envoyé à un routeur qui a déjà fait suivre un paquet particulier. La sortie de PathPing indique alors la répétition d'un ensemble de routeurs. Les boucles de routage sont généralement provoquées par une erreur de configuration d'un routeur ou du protocole de routage. Le dépannage doit être effectué sur l'équipement de routage du réseau.

La colonne RTT de la section Performance indique le temps de latence bilatéral en millisecondes pour un périphérique particulier. Même si le temps de latence augmente sur tous les réseaux avec le nombre de sauts, une forte augmentation d'un saut à l'autre indique un problème de performance. Les problèmes de performances peuvent également être révélés par la présence d'un pourcentage élevé dans la colonne Perdu/Envoyé = . Cette colonne mesure les pertes de paquets. Si un chiffre faible n'indique rien d'anormal, tout taux de perte supérieur à 30% indique généralement que le nœud réseau rencontre des problèmes. Si un périphérique réseau affiche un taux de perte de 100% mais que les paquets sont traités lors des sauts suivants, le périphérique réseau a été configuré pour ne pas répondre aux requêtes PathPing, ce qui n'indique pas forcément un problème.

Si le dernier élément de la première section de la sortie de PathPing ressemble à 14 * * *, PathPing s'est révélé incapable de communiquer directement avec la destination. Cela n'indique toutefois pas obligatoirement un problème de connectivité. Le périphérique peut être hors ligne ou injoignable, mais il est également possible que la destination ou un nœud réseau situé sur son chemin soit configuré pour éliminer les paquets ICMP employés par PathPing pour interroger les périphériques. ICMP est désactivé par défaut dans de nombreux systèmes d'exploitation modernes. En outre, les administrateurs désactivent souvent manuellement ICMP sur d'autres systèmes d'exploitation comme mesure de sécurité pour compliquer la tâche d'identification des nœuds du réseau par des intrus malveillants ainsi que pour réduire les effets de certaines attaques de déni de service.

Si la sortie de PathPing indique une communication réussie avec la destination et que le temps RTT affiché pour celle-ci est inférieur à 1000 millisecondes, il ne se pose probablement aucun problème de résolution de nom ou de connectivité IP entre la source et la destination.

PathPing n'indique toutefois pas les problèmes rencontrés avec une application ou un service spécifique.

Portqry

Vous devez déterminer si un hôte distant est disponible et accessible en émettant directement des requêtes vers ses services critiques. Pour ce faire, deux outils de dépannage sont disponibles : Portqry (Portqry.exe) et Telnet. Portqry est plus souple et d'utilisation plus simple. Il n'est toutefois pas inclus dans Windows Vista et doit être téléchargé depuis Microsoft.com.

Un même ordinateur peut héberger de nombreux services réseau, qui établissent la distinction entre leurs trafics à l'aide de numéros de ports. Lorsque vous testez la connectivité vers une application à l'aide de Portqry, vous devez fournir à celui-ci le numéro du port employé par l'application de destination. Pour ce faire, ouvrez une invite de commandes et exécutez la commande suivante :

```
portqry -n destination -e numéroport
```

Par exemple, pour tester la connectivité HTTP (port 80 par défaut) vers www.CommentCaMarche.net, entrez la commande suivante sur la ligne de commande :

```
portqry -n www.CommentCaMarche.net -e 80
```

Cette commande produit une sortie similaire à ce qui suit :

```
Querying target system called:
 www.CommentCaMarche.net
Attempting to resolve name to IP address...

Name resolved to 213.248.111.114
querying...
TCP port 80 (http service): LISTENING
```

Ici, `destination` peut être un nom d'hôte, un nom d'ordinateur ou une adresse IP. Si la réponse comprend LISTENING, l'hôte a répondu sur le port spécifié. Si la réponse indique NOT LISTENING ou FILTERED, le service testé est indisponible.

Il pourrait être dit encore bien des choses sur PortQry, mais cela excède la portée de ce livre.

Traceroute/Tracert

Traceroute est un outil de diagnostic des réseaux, présents sur la plupart des systèmes d'exploitation, permettant de déterminer le chemin suivi par un paquet. La commande `traceroute` permet ainsi de dresser une cartographie des routeurs présents entre une machine source et une machine cible. Elle diffère selon les systèmes d'exploitation :

- Sous les systèmes Unix/Linux, la commande `traceroute` est la suivante :

```
traceroute nom.de.la.machine
```

- Sous les systèmes Windows, la commande `traceroute` est la suivante :

```
tracert nom.de.la.machine
```

Sortie d'une commande traceroute

La commande `traceroute` fournit une sortie décrivant les noms et adresses IP des routeurs successifs, précédés d'un numéro d'ordre et du temps de réponse minimum, moyen et maximum :

```
Détermination de l'itinéraire
vers www.commentcamarche.net [163.5.255.85]
avec un maximum de 30 sauts :

  1    33 ms    32 ms    33 ms  raspail-2-81-57-234-
                                  254.fbx.proxad.net [81.57.234.254]
  2    33 ms    33 ms    33 ms  vlq-6k-2-a5.routers.proxad.net
                                                    [213.228.4.254]
  3    33 ms    33 ms    33 ms  vlq-6k-2-v802.intf.
                                 routers.proxad.net [212.27.50.46]
  4    33 ms    33 ms    33 ms  th1-6k-2-v806.intf.routers.
                                        proxad.net [212.27.50.41]
  5    32 ms    34 ms    34 ms  cbv-6k-2-v802.intf.
                                 routers.proxad.net [212.27.50.34]
  6    34 ms    32 ms    33 ms  ldc-6k-1-a0.routers.proxad.net
                                                    [213.228.15.67]
  7    35 ms    35 ms    35 ms  cogent.FreeIX.net [213.228.3.187]
  8    36 ms    36 ms    35 ms  NeufTelecom.demarc.cogentco.com
                                                    [130.117.16.22]
```

```
 9    36 ms    36 ms    36 ms  V3994.c1cbv.gaoland.net
                                                [212.94.162.209]
10    34 ms    34 ms    35 ms  V4080.core3.cbv.gaoland.net
                                                [212.94.161.129]
11    36 ms    35 ms    37 ms  212.94.164.210
12    36 ms    36 ms    36 ms  nestor.commentcamarche.org
                                                  [163.5.255.85]

Itinéraire déterminé.
```

Fonctionnement de Traceroute

`traceroute` appuie son fonctionnement sur le champ TTL des paquets IP. En effet chaque paquet IP possède un champ durée de vie (TTL, *Time To Live*) décrémenté à chaque passage d'un routeur. Lorsque ce champ arrive à zéro, le routeur, considérant que le paquet tourne en boucle, détruit ce paquet et envoie une notification ICMP à l'expéditeur.

Ainsi, `traceroute` envoie des paquets à un port UDP non privilégié, réputé non utilisé (le port 33434 par défaut) avec un TTL valant 1. Le premier routeur rencontré va supprimer le paquet et renvoyer un paquet ICMP donnant notamment l'adresse IP du routeur ainsi que le temps de propagation en boucle. `traceroute` va ainsi incrémenter séquentiellement le champ durée de vie, de manière à obtenir une réponse de chacun des routeurs sur le chemin, jusqu'à obtenir une réponse *port ICMP non atteignable* (*ICMP port unreachable*) de la part de la machine cible.

Arp

Arp est initialement l'acronyme du protocole *Address Resolution Protocol* qui sert à identifier l'adresse MAC qui correspond à une adresse IPv4. Lorsqu'un client communique avec un système sur le même réseau local, le protocole ARP diffuse un message vers tous les systèmes du réseau, demandant une réponse du système qui possède l'adresse IPv4 recherchée. Ce système répond à la diffusion en envoyant son adresse MAC, stockée par le protocole ARP dans le cache ARP.

ARP peut parfois poser problème. Si vous changez une carte réseau défaillante, les clients ont pu stocker une adresse MAC désormais incorrecte dans le cache ARP. Il en sera de même si vous avez ajouté manuellement, comme vous en avez la possibilité, une adresse MAC incorrecte dans le cache ARP : les communications envoyées vers cette adresse IPv4 vont alors échouer.

Si une des entrées du cache ARP est incorrecte, il faut vider le cache ARP. Cela est sans danger, même si toutes les entrées apparaissent correctes. C'est donc une étape conseillée lors d'un dépannage.

Vous effectuez ceci grâce à l'utilitaire Arp (Arp.exe). Vous pouvez également vider le cache ARP en désactivant et en réactivant une carte réseau ou en choisissant l'option automatisée Réparer. Pour plus d'informations sur l'outil Arp, exécutez Arp -? depuis une invite de commandes.

Netstat

Pour qu'un service réseau reçoive les communications entrantes, il doit écouter celles-ci sur un port TCP ou UDP spécifique. Lorsque vous dépannez des problèmes réseau, vous pourriez souhaiter examiner les ports sur lesquels votre ordinateur guette les connexions entrantes pour vérifier que le service est correctement configuré et que le numéro de port est bien resté celui par défaut.

Netstat est un outil en ligne de commande disponible sous Windows et Linux qui permet de connaître les connexions TCP actives sur la machine sur laquelle la commande est activée et ainsi d'obtenir la liste de l'ensemble des ports TCP et UDP ouverts sur l'ordinateur. Il permet également d'obtenir des statistiques sur un certain nombre de protocoles (Ethernet, IPv4, TCP, UDP, ICMP et IPv6).

Utilisée sans aucun argument, la commande `netstat` affiche l'ensemble des connexions ouvertes par la machine. Elle possède un certain nombre de paramètres optionnels, sa syntaxe est la suivante :

```
netstat [-a] [-e] [-n] [-o] [-s] [-p PROTO] [-r] [intervalle]
```

Le tableau suivant explique les différents arguments de la commande netstat :

Argument	Effet
–a	affiche l'ensemble des connexions et des ports en écoute sur la machine.
–e	affiche les statistiques Ethernet.
–n	affiche les adresses et les numéros de port en format numérique, sans résolution de noms.
–o	détaille le numéro du processus associé à la connexion.
–p *protocole*	*protocole* est le nom du protocole (TCP, UDP ou IP). Affiche les informations demandées concernant le protocole spécifié.
–r	affiche la table de routage.
–s	affiche les statistiques détaillées par protocole.
intervalle	permet de déterminer la période de rafraîchissement des informations, en secondes (par défaut, 1 seconde).

Netstat affiche la liste des ports ouverts ainsi que les connexions sortantes et les identifiants de processus (PID) associés à chaque auditeur ou connexion. Des outils comme l'onglet Processus du Gestionnaire des tâches peuvent indiquer quel processus est associé à un PID.

Astuce

Pour identifier des processus d'après leur PID depuis le Gestionnaire des tâches Windows, sélectionnez l'onglet Processus. Dans le menu Affichage, cliquez sur Sélectionner les colonnes. Cochez l'option PID (Identificateur de processus), puis cliquez sur OK.

Sous Linux, pour obtenir un résultat équivalent, saisissez dans un terminal :

```
sudo watch lsof -i
```

Voici un exemple de sortie Linux.

```
COMMAND    PID       USER   FD   TYPE DEVICE SIZE NODE NAME
cupsd     4451     cupsys    3u  IPv4  15022       TCP localhost:ipp (LISTEN)
hpiod     4475       root    0u  IPv4  15058       TCP localhost:2200 (LISTEN)
python    4525      hplip    4u  IPv4  15138       TCP localhost:2207 (LISTEN)
sshd      4736       root    3u  IPv6  15694       TCP *:ssh (LISTEN)
firefox-b 5125 sebsauvage   73u  IPv4  27230       TCP ubuntu:1414->10.0.0.1:0131 (ESTABLISHED)
firefox-b 5125 sebsauvage   74u  IPv4  27231       TCP ubuntu:1415->10.0.0.1:0131 (ESTABLISHED)
```

Vous pouvez y voir :

- Le nom du programme qui effectue cette connexion (COMMAND) ainsi que son PID ;
- L'utilisateur qui a lancé ce programme (USER) ;
- L'adresse de connexion.

Cet affichage est mis à jour toutes les 2 secondes.

Dépannage de la connectivité réseau

Un problème de connectivité réseau est au sens strict l'impossibilité d'atteindre **une catégorie** de ressources réseau normalement accessible par le réseau défaillant. Par exemple, si votre connexion Internet est interrompue, vous ne pourrez atteindre les ressources Internet, mais pouvez accéder aux ressources de votre LAN. Si en revanche c'est ce dernier qui est défaillant, plus rien n'est accessible. L'impossibilité d'atteindre **une** ressource précise est un autre problème.

Le tableau suivant présente grossièrement les causes possibles des problèmes précédemment cités :

Problème	Cause probable
Impossible d'accéder à aucune ressource située à l'extérieur de l'ordinateur local.	Défaut global de connectivité réseau : Défaillance ou mauvaise configuration de la carte réseau ; Défaillance ou mauvaise configuration d'un autre matériel réseau ; Défaillance de la connexion au réseau ;

Problème	Cause probable
Impossible d'accéder à toutes les ressources du réseau local (mais accès Internet possible)	Problème de configuration du réseau : les autres périphériques possèdent-ils bien une adresse IP située sur le même sous-réseau ? Les autres périphériques sont-ils connectés et branchés ? Le pare-feu est-il correctement configuré ?
Impossible d'accéder à plusieurs ressources du réseau local (mais pas à toutes).	Problème de configuration du réseau : les autres périphériques possèdent-ils bien une adresse IP située sur le même sous-réseau ? Les autres périphériques sont-ils connectés et branchés ? Ces ressources ne sont-elles pas protégées, ou le disque les hébergeant n'est-il pas défaillant ? Le pare-feu des hôtes hébergeant les ressources est-il correctement configuré ?
Impossible d'accéder à une unique ressource du réseau local	Est-elle bien connectée ? Son accès est-il autorisé depuis votre machine ? Le pare-feu de l'hôte hébergeant la ressource est-il correctement configuré ?
Impossible d'accéder à toutes les ressources Internet (mais accès au réseau local possible)	Ce n'est pas à strictement parler une défaillance du réseau local : Défaillance ou mauvaise configuration d'un matériel réseau, ici la passerelle ou le modem routeur ; Défaillance de la connexion Internet ;
Impossible d'accéder à plusieurs ressources Internet (mais pas à toutes).	Ce n'est aucunement une défaillance du réseau local : Un serveur extérieur peut être défaillant.
Impossible d'accéder à une (et une seule) ressource Internet.	Ce n'est aucunement une défaillance du réseau local : Un serveur peut être défaillant. Le site peut être surchargé ou défaillant.

Comme vous le voyez, la plupart des vrais problèmes de connectivité réseau sont dus à une ou plusieurs des causes suivantes :

- Défaillance ou mauvaise configuration d'une ou de plusieurs cartes réseau ;
- Défaillance ou mauvaise configuration d'un matériel réseau (passerelle, modem routeur, répéteur, serveur distant) ;
- Défaillance de la connexion au réseau ;

Il est hélas fréquent d'évoquer une défaillance du réseau dès qu'une unique ressource réseau devient inaccessible. Par exemple, un serveur DNS défaillant empêche votre ordinateur de résoudre les noms d'hôte, l'empêchant d'identifier les ressources du réseau d'après leur nom. Vous devez toujours chercher à isoler la cause du problème avant de tenter tout dépannage.

La démarche à suivre dépend bien sûr du système d'exploitation employé. Nous présentons ici les étapes à suivre essentiellement sous Windows.

Problèmes de connectivité globale

Dans cette situation, il vous est impossible d'accéder à une quelconque ressource située à l'extérieur de l'ordinateur local. Cela peut être dû à plusieurs causes, éventuellement simultanées.

Les premières choses à vérifier sont les suivantes :

- Pour un réseau filaire, les câbles sont-ils bien branchés aux deux extrémités, et le périphérique (switch, hub, routeur, modem/routeur, box) est-il lui-même bien sous tension ?
- Dans le cas d'un réseau sans fil, le point d'accès est-il bien branché et fonctionnel et/ou, si vous travaillez sur un portable, le WiFi est-il bien activé ?

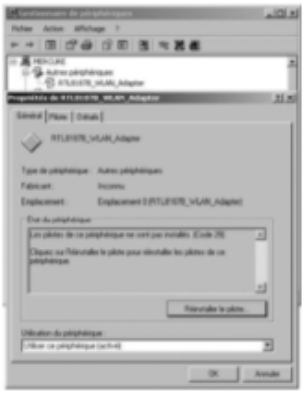
Vérification de la carte réseau

La première chose à vérifier ensuite est que la carte réseau est installée et dispose d'un pilote actif.

Avec Windows XP, cliquez sur Démarrer > Panneau de configuration. Cliquez sur Système, choisissez l'onglet Matériel puis cliquez sur Gestionnaire de périphérique. Vous pouvez également appuyer simultanément sur les touches Windows+Pause (Attn) ou effectuer un clic droit sur le Poste de travail et choisir Propriétés)

Examinez la liste des périphériques, déroulez la liste des cartes réseau. Toutes vos cartes réseau doivent apparaître. Si la carte

concernée est absente, servez-vous de l'assistant Ajout de matériel du Panneau de configuration. Si elle est présente mais affiche un point d'exclamation ou un point d'interrogation jaune, un problème se pose. Cliquez sur Propriétés pour en savoir plus. Dans la figure suivante, les pilotes de l'adaptateur réseau ne sont pas installés.



Dans ce cas, rendez-vous sur le site Internet du constructeur de votre adaptateur pour télécharger les pilotes de celui-ci.

Si votre adaptateur réseau affiche un point d'exclamation jaune, il n'a pas pu démarrer : c'est de là que vient le problème. Il peut être défaillant.

Avec Windows Vista et ultérieur, cliquez sur Démarrer, cliquez avec le bouton droit sur Réseau, puis cliquez sur Propriétés. Cliquez sur Gérer les connexions réseau. Si votre connexion au réseau n'apparaît pas, votre carte réseau ou son pilote n'est pas installé.

- Si une carte réseau est installée, cliquez avec le bouton droit dessus dans Connexions réseau, puis cliquez sur Diagnostic. Suivez les invites qui apparaissent. Windows Vista peut être capable de diagnostiquer le problème.
- Si une carte réseau sans fil affiche Non connecté, tentez de vous connecter à un réseau sans fil. Dans Connexions réseau, cliquez avec le bouton droit sur la carte réseau, puis cliquez sur Connexion. Dans la boîte de dialogue Me connec-

ter à un réseau, cliquez sur un réseau sans fil, puis cliquez sur Connecter.

- Si un réseau sans fil est sécurisé, que vous êtes invité à saisir un code mais ne pouvez vous connecter ou si la carte réseau montre indéfiniment un état Identification ou Connecté avec un accès limité, vérifié que vous avez saisi le bon code. Si ce n'est pas le cas, déconnectez-vous du réseau et connectez-vous à nouveau à l'aide du code correct.

Si la carte réseau sans fil affiche le nom d'un réseau sans fil (au lieu de Non connecté), vous êtes connecté à un réseau sans fil. Cependant, cela ne vous affecte pas obligatoirement une configuration d'adresse IP ni ne vous procure systématiquement l'accès à d'autres ordinateurs du réseau ou à l'Internet.

- Désactivez et réactivez d'abord la carte réseau : cliquez dessus avec le bouton droit, cliquez sur Désactivez, cliquez à nouveau dessus avec le bouton droit puis cliquez sur Activez. Reconnectez-vous ensuite au réseau sans fil.
- Si cela ne marche toujours pas, supprimez le réseau de votre liste des réseaux préférés, puis créez un nouveau réseau préféré en entrant à nouveau les éléments (ESSID et clé WEP/WAP) et cliquez à nouveau sur Se connecter automatiquement. Attendez quelques instants.

Avec un réseau sans fil, le problème peut être dû au signal radio. Rapprochez l'ordinateur du point d'accès sans fil pour déterminer si cela provient de la force du signal.

Si le problème persiste, d'autres causes peuvent être en jeu. Nous allons les examiner par probabilité d'apparition.

Problème de configuration IP

Une mauvaise configuration IP de l'ordinateur est fréquente, et peut être due à plusieurs causes. Les systèmes Windows proposent un outil en ligne de commande, appelé **ipconfig**, permettant de connaître (entre autres choses) la configuration IP de l'ordinateur. L'utilitaire équivalent sous Linux est **ifconfig**. La sortie de cette commande donne la configuration IP pour chaque interface, ainsi un ordinateur possédant deux cartes réseau et un adaptateur sans fil possède 3 interfaces possédant chacun leur propre configuration.

Pour visualiser la configuration IP de votre ordinateur Windows, choisissez Démarrer > Exécuter, puis saisissez **cmd /k ipconfig /all** (servez-vous de ifconfig sur Linux). Examinez la sortie, qui devrait ressembler à ce qui suit (seul le début, qui nous intéresse, est présenté ici) :

```
Configuration IP de Windows

        Nom de l'hôte . . . . . . . . . . : CCM
        Suffixe DNS principal . . . . . . :
        Type de noud . . . . . . . . . . : Hybride
        Routage IP activé . . . . . . . . : Oui
        Proxy WINS activé . . . . . . . . : Non

Carte Ethernet Connexion au réseau local:

        Statut du média . . . . . . . . . : Média déconnecté
       Description . . . . . . . . . . . : ULi PCI Fast Ethernet
                                           Controller
        Adresse physique . . . . . . . . .: 00-40-D0-7E-82-2E

Carte Ethernet Connexion réseau sans fil:

        Suffixe DNS propre à la connexion :
       Description . . . . . . . . . . . : Ralink RT2500 Wireless
                                           LAN Card
        Adresse physique . . . . . . . . .: 00-10-60-60-65-8C
        DHCP activé. . . . . . . . . . . : Oui
        Configuration automatique activée . . . . : Oui
        Adresse IP. . . . . . . . . . . . : 192.168.0.4
        Masque de sous-réseau . . . . . . : 255.255.255.0
      Adresse IP. . . . . . . . . . . . : fe80::210:60ff:fe60:658c%5
        Passerelle par défaut . . . . . . : 192.168.0.10
        Serveur DHCP. . . . . . . . . . . : 192.168.0.10
        Serveurs DNS . . . . . . . . . .  : 192.168.0.10
                                           fec0:0:0:ffff::1%1
                                           fec0:0:0:ffff::2%1
                                           fec0:0:0:ffff::3%1
 (...)
```

- Si aucune carte réseau n'est citée, l'ordinateur est dépourvu de carte réseau ou (plus probablement) de pilote valide installé. Vous avez normalement déjà éliminé cette possibilité lors des étapes précédentes.

- Si une carte réseau possède pour l'entrée Statut du média la valeur Média déconnecté, elle n'est pas connectée physiquement à un réseau : c'est le cas de la carte Ethernet dans la sortie précédente. Rien d'anormal, puisque vous employez la carte sans fil. Dans le cas d'une carte sans fil, cela signifie qu'elle n'est pas connectée à un réseau.

Problèmes d'adresse IP

Une adresse IP est une série de chiffres, comme expliqué au chapitre 6. Elles sont de type IPv4, sous la forme de quatre nombres décimaux séparés par un point, ou Ipv6, sous la forme de nombres hexadécimaux séparés par un signe deux points. Deux types d'adresses IPv4 nous intéressent plus particulièrement :

- **L'adresse IP propre à l'ordinateur concerné**, utilisée pour la connexion au routeur (réseau interne), qui figure à la ligne Adresse IP.
- **L'adresse IP de la station d'accès** (modem routeur ou box) ou passerelle, figurant à la ligne Passerelle par défaut.
- Si la sortie d'ipconfig montre pour la carte réseau à la ligne Adresse IP une adresse IPv4 située dans la plage 169.254.0.1 à 169.254.255.254, l'ordinateur possède une adresse APIPA (*Automatic Private IP Addressing*). Cela indique que l'ordinateur est configuré pour employer un serveur DHCP mais qu'aucun serveur DHCP n'est disponible. Avec des privilèges administratifs, exécutez la commande suivante sur une invite de commandes :

```
ipconfig /release
ipconfig /renew
ipconfig /all
```

- Si la carte réseau possède toujours une adresse APIPA, le serveur DHCP est inaccessible ou sans effet. Vérifiez que la fonction DHCP est bien activée sur votre routeur (ou point d'accès), puis redémarrez l'ordinateur ou exécutez à nouveau les commandes `ipconfig /release` et `ipconfig /renew`.
- Vérifiez ensuite que le client DHCP est activé. Cliquez sur Démarrer, choisissez Exécuter puis saisissez **services.msc**. Cherchez le service « Client DHCP », double-cliquez dessus puis modifiez si besoin est son type de démarrage en Automatique. Démarrez-le s'il n'est pas déjà en fonctionnement.

- Si le réseau n'emploie pas de serveur DHCP, configurez une adresse IPv4 statique ou alternative appartenant à votre sous-réseau.
- Si toutes les cartes réseau affichent DHCP activé : Non dans la sortie de la commande ipconfig /all, elles peuvent être mal configurées. Lorsque DHCP est désactivé, l'ordinateur doit se voir attribuer manuellement une adresse IPv4 statique valide.

Procédez aux modifications nécessaires, puis passez à l'étape suivante.

- Vérifiez la configuration de la passerelle par défaut à l'aide de la commande suivante :

```
ping adresse_ip_passerelle_par_défaut
```

où *adresse_ip_passerelle_par_défaut* est l'adresse IPv4 de la passerelle par défaut.

Si le résultat du ping affiche « Dépassement de délai », soit l'adresse IP de la passerelle par défaut de votre ordinateur est encore mal configurée soit la passerelle par défaut est hors ligne ou bloque les requêtes ICMP. Si le résultat du Ping montre « Réponse de ... », votre passerelle par défaut est correctement configurée.

Vous pouvez ensuite vérifier la connectivité de l'ordinateur en employant ping depuis une invite de commande sur l'ordinateur hôte (vous devez connaître son nom ou son adresse IP). Voici un exemple :

```
ping 192.168.0.1
Envoi d'une requête 'ping' sur  avec 32 octets de données :

Réponse de 192.168.0.1 : octets=32 temps<1ms TTL=255
Réponse de 192.168.0.1 : octets=32 temps=1 ms TTL=255
Réponse de 192.168.0.1 : octets=32 temps=1 ms TTL=255
Réponse de 192.168.0.1 : octets=32 temps=1 ms TTL=255

Statistiques Ping pour 192.168.0.1:
    Paquets : envoyés = 4, reçus = 4, perdus = 0 (perte 0%),
Durée approximative des boucles en millisecondes :
    Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Moyenne = 0ms
```

Vous constatez ici que l'ordinateur hôte répond. S'il n'avait pas répondu, vous auriez obtenu quelque chose comme ceci :

```
ping 192.168.0.1
Envoi d'une requête 'ping' sur 192.168.0.1 avec 32 octets de don-
nées :

Délai d'attente de la demande dépassé.
Délai d'attente de la demande dépassé.
Délai d'attente de la demande dépassé.
Délai d'attente de la demande dépassé.

Statistiques Ping pour 192.168.0.1:
    Paquets : envoyés = 4, reçus = 0, perdus = 4 (perte 100%),
```

Ce n'est donc pas un problème de connectivité directe. Il faut chercher autre chose...

Problème de pare-feu

De nombreuses attaques ont pour origine des connexions réseau. Pour réduire l'impact de ces attaques, de nombreux pare-feu dont le Pare-feu Windows bloquent par défaut les blocs non demandés, ainsi que tout trafic entrant ou sortant non approuvé. Le pare-feu peut bloquer un trafic légitime s'il est incorrectement configuré. Lors du dépannage de problèmes de connectivité d'application, il est souvent nécessaire d'examiner et parfois de modifier la configuration des pare-feu du client ou du serveur. Serveur est le nom donné ici à l'hôte qui héberge la ressource concernée : ce n'est pas forcément un ordinateur qui exécute un système d'exploitation ou un logiciel serveur. Par exemple, si un ordinateur possède un dossier partagé auquel accèdent d'autres ordinateurs, il agit comme serveur vis-à-vis des autres machines, nommées clients.

Une mauvaise configuration de pare-feu peut être à l'origine de plusieurs types de problèmes de connectivité. Sur un ordinateur qui agit comme client, un pare-feu (celui de Windows ou un pare-feu personnel) peut bloquer les communications sortantes de l'application. Sur un ordinateur Vista ou ultérieur qui agit comme serveur, une mauvaise configuration du pare-feu peut provoquer un des problèmes suivants :

- Le pare-feu bloque tout le trafic entrant pour l'application.

- Le pare-feu permet l'entrée du trafic qui provient du réseau local, mais bloque le trafic entrant qui provient d'autres réseaux.
- Le pare-feu autorise le trafic entrant lorsqu'il est connecté à un réseau avec domaine, mais le bloque lorsqu'il est connecté à un réseau public ou privé.

Les symptômes d'une mauvaise configuration de pare-feu côté client ou serveur sont identiques : les communications de l'application échouent. Pour compliquer encore le dépannage, des pare-feu réseau peuvent provoquer les mêmes symptômes. Répondez aux questions suivantes pour tenter d'identifier la source du problème :

- Pouvez-vous vous connecter au serveur depuis d'autres clients du même réseau ? Si la réponse est oui, vous rencontrez un problème de configuration de pare-feu côté client qui est probablement lié à la portée d'une exception de pare-feu.
- Pouvez-vous vous connecter au serveur lorsque le client est connecté à un type d'emplacement réseau (comme un réseau familial), mais pas avec un ou plusieurs autres types d'emplacement réseau ? Si la réponse est oui, vous rencontrez un problème de configuration de pare-feu côté client probablement provoqué par une exception configurée uniquement par un type d'emplacement réseau.
- D'autres clients du même réseau peuvent-ils se connecter au serveur à l'aide de la même application ? Si la réponse est oui, vous rencontrez un problème de configuration de pare-feu côté client probablement provoqué par une règle qui bloque le trafic sortant de l'application.
- Le client peut-il se connecter à d'autres serveurs à l'aide de la même application ? Si la réponse est oui, vous rencontrez un problème de configuration de pare-feu côté serveur : il faut ajouter une exception.

Problème général d'accès au réseau distant

Vous pouvez vous connecter au réseau local et accéder à ses ressources, mais pas accéder à des ressources distantes (généralement Internet).

Le problème ne tient pas à votre réseau, ni directement au point d'accès ou au modem/routeur. Il peut provenir toutefois :

- d'une mauvaise configuration ;
- d'une défaillance du modem ;
- d'une défaillance de la liaison à Internet.

Vérifiez encore une fois la configuration de la passerelle par défaut à l'aide de la commande suivante :

```
ping adresse_ip_passerelle_par_défaut
```

Comme déjà évoqué, si le résultat du ping affiche « Dépassement de délai », soit l'adresse IP de la passerelle par défaut de votre ordinateur est mal configurée soit la passerelle par défaut est hors ligne ou bloque les requêtes ICMP. Si le résultat du Ping montre « Réponse de ... », votre passerelle par défaut est correctement configurée et le problème est autre.

Servez-vous de la commande Tracert pour tester la communication avec des périphériques extérieurs à votre LAN. Vous pouvez employer tout serveur situé sur un réseau distant. Mais pourquoi pas l'hôte *www.CommentCaMarche.net* ?

```
C:\>tracert www.CommentCaMarche.net
Détermination de l'itinéraire vers a1727.b.akamai.net
[62.41.82.65]
avec un maximum de 30 sauts :

  1     1 ms    <1 ms    <1 ms  192.168.0.10
  2    58 ms    58 ms    57 ms  1.133.200-77.rev.gaoland.net
[77.200.133.1]
  3     *      251 ms     *     149.228.64-86.rev.gaoland.net
[86.64.228.149]
  4     *       70 ms    67 ms  198.220.96-84.rev.gaoland.net
[84.96.220.198]
  5    67 ms    67 ms    67 ms  193.251.216.94
  6   67 ms    67 ms    67 ms  nntr-s1-rou-1021.FR.eurorings.net
[134.222.230.1
53]
  7    67 ms    67 ms    67 ms  62.41.82.65

Itinéraire déterminé.
```

La ligne 1 est la passerelle par défaut. Les lignes 2 et au-dessous sont les routeurs situés à l'extérieur de votre réseau local, jusqu'à l'adresse de destination.

- Si vous voyez le message « Impossible de résoudre le nom du système cible », votre serveur DNS est inaccessible. Il peut être hors ligne, l'ordinateur client peut être mal configuré ou le réseau défaillant. Si votre serveur DNS se trouve sur votre réseau local (comme affiché par la commande ipconfig /all) et qu'un Ping vers le routeur réussit, le serveur DNS est défaillant ou mal configuré. Si votre serveur DNS se trouve sur un autre réseau, le problème peut provenir de l'infrastructure réseau ou de la résolution de nom. Répétez cette étape en employant Ping pour contacter l'adresse IP du serveur DNS (telle qu'affichée par la commande ipconfig /all).

Serveurs DNS

Une bonne astuce consiste à choisir comme serveur DNS secondaire un serveur autre que ceux de votre fournisseur d'accès. Si ses serveurs sont en cause, cela vous permettra d'obtenir quand même une résolution DNS.

Une recherche Internet sur « serveur DNS »+« adresses » vous fournira les adresses de plusieurs sites qui fournissent ces adresses, dont http://www.ariase.com/fr/guides/dns-adsl.html et http://forum.macadsl.com/viewtopic.php?t=10459.

- Si rien ne répond après la ligne 1, votre passerelle par défaut ne peut communiquer avec des réseaux externes. Essayez de redémarrer la passerelle par défaut. Si celle-ci est directement connectée à l'Internet, la connexion Internet ou le périphérique qui vous connecte à l'Internet (comme un modem câble ou DSL) peuvent être défaillants. Une défaillance de la partie modem, mais pas de la partie routeur, est assez rare. Vérifiez les diodes et la ligne. Accédez à l'interface de configuration du modem routeur et examinez l'état général (voir figure suivante).

Contactez votre FAI pour un dépannage complémentaire.

- Si un quelconque routeur au-dessus de la ligne 2 répond (peu importe si l'hôte final répond ou non), l'ordinateur client et la passerelle par défaut sont correctement configurés. Le problème provient de l'infrastructure réseau ou d'une défaillance de la connexion Internet.

Pour contre vérifier vos résultats, répétez ces étapes depuis un autre ordinateur, situé sur le même réseau. Si le deuxième ordinateur présente les mêmes symptômes, vous pouvez être certain qu'une partie de l'infrastructure réseau est défaillante. Si en revanche le second client peut communiquer avec succès sur le réseau, comparez la sortie de Ipconfig /all des deux machines. Si les adresses de la passerelle par défaut ou du serveur DNS diffèrent, essayez de configurer l'ordinateur à problème avec les paramètres de l'autre ordinateur. Si cela ne résout pas le problème, la raison en tient uniquement à l'ordinateur initial et peut indiquer un problème matériel ou de connexion Internet sur celui-ci.

Problème de liaison Internet

Commencez par vérifier que le modem est bien connecté à la prise téléphonique, et que la ligne est active. L'examen des diodes du

modem (de la boîte) suffit généralement. Si la diode clignote, c'est que la liaison ADSL est en cours de resynchronisation : patientez. Si elle est éteinte, vous n'avez pas de connexion : vérifiez les branchements, et testez éventuellement la ligne avec un téléphone « normal », pour vous assurer que la ligne est active.

La position de la diode et sa couleur (ou sa variation de couleur) dépendent du matériel concerné. Dans certains cas, vous pourriez même disposer d'un affichage numérique, affichant éventuellement des codes d'erreur : reportez-vous si besoin est à la documentation de votre matériel.

De nombreux facteurs peuvent agir sur votre ligne téléphonique : une rupture de fil (intempéries, orage), la défaillance d'un matériel quelconque en amont sur la ligne, qu'il appartienne à l'opérateur historique ou à votre FAI. Les serveurs de celui-ci peuvent également être en panne. De telles pannes peuvent parfois durer plusieurs heures, et restent relativement fréquentes.

N'essayez jamais de modifier vos paramètres sans avoir vérifié que la panne ne vient pas de l'extérieur de votre réseau. Une bonne idée est généralement de disposer d'un compte alternatif, comme un accès Internet gratuit facturé uniquement au prix d'une communication locale, souscrit auprès d'un autre FAI que votre fournisseur « normal » : si vous pouvez vous connecter à l'aide de ce compte, c'est probablement que le problème est lié à votre FAI. Cela impose toutefois de disposer d'un « vieux » modem conservé au cas où…

Problème d'installations, de mises à jour et de pare-feu

Il arrive que l'installation d'un nouveau logiciel entraîne un blocage de tout ou partie des fonctionnalités Internet. Cela est particulièrement vrai pour tout logiciel de connectivite, tel qu'un produit bancaire permettant de suivre votre compte à distance, une mise à jour de votre navigateur ou de votre logiciel de messagerie, une mise à jour du logiciel de connexion de votre FAI (surtout s'il intègre un navigateur !) ou même une mise à jour de sécurité du système d'exploitation.

Une modification de pare-feu personnel peut également en être la cause, celle-ci pouvant d'ailleurs s'être effectuée à votre insu lors d'une mise à jour :

- Des incompatibilités peuvent parfois survenir. Cela a été récemment le cas avec une mise à jour de sécurité de Windows XP et ZoneAlarm. La connexion devenait impossible et il avait fallu modifier les paramètres de ZoneAlarm en attendant une mise à jour de celui-ci, qui a définitivement réglé le problème.
- Si le navigateur (ou le gestionnaire de courrier) a été mis à jour, il est généralement nécessaire d'autoriser à nouveau le programme modifié à accéder à Internet. Par défaut, la plupart des pare-feu interdisent l'accès sortants aux programmes qui ne sont pas explicitement autorisés, tandis qu'un programme modifié est considéré comme nouveau programme. Vérifiez la présence de la version actuelle de votre produit dans la liste des programmes autorisés sur votre pare-feu personnel (et, éventuellement, supprimez-en les anciennes versions obsolètes).

Problème localisé d'accès au réseau distant

Problèmes de connectivité d'application

Vous pourrez parfois accéder au réseau avec certaines applications mais pas avec d'autres. Par exemple, vous pourriez pouvoir recevoir vos messages, mais non accéder à des serveurs Web. Vous pourriez pouvoir afficher des pages depuis un serveur Web distant, mais être dans l'incapacité de vous connecter à cet ordinateur avec le Bureau à distance.

Ces symptômes peuvent être dus à plusieurs causes, énumérées ici par ordre approximatif de probabilité :

- Le service distant n'est pas en cours d'exécution.
- Le serveur distant possède un pare-feu configuré qui bloque les communications de cette application depuis votre ordinateur client.
- Un pare-feu situé entre les ordinateurs client et serveur bloque les communications de cette application.
- Le Pare-feu Windows de l'ordinateur local est configuré pour bloquer le trafic de l'application.
- Le service distant a été configuré pour employer un port autre que celui par défaut. Par exemple, les serveurs Web emploient traditionnellement le port TCP 80, mais certains

administrateurs ont pu configurer le port TCP 81 ou un autre port.

Voici comment procéder pour résoudre un problème de connectivité d'application :

- Vérifiez d'abord qu'il ne s'agit pas d'un problème de résolution de nom. Ouvrez une invite de commandes et exécutez la commande Nslookup *nomserveur*. Si Nslookup n'affiche pas une réponse similaire à ce qui suit, vous rencontrez un problème de résolution de nom.

```
nslookup http://www.commentcamarche.net
…
Réponse ne faisant pas autorité :
Nom :    http://www.commentcamarche.net
Address:  194.169.240.247
```

- Identifiez le numéro du port employé par l'application. Le tableau suivant présente les numéros de port des applications classiques. Si vous ne savez pas quel port emploie votre application, consultez sa documentation ou contactez le service technique. Vous pouvez alternativement employer un analyseur de protocoles comme le Moniteur réseau pour examiner le trafic réseau et déterminer les numéros des ports employés.

Nom du service ou de la tâche	UDP	TCP
Serveurs Web, HTTP et IIS		80
HTTP-SSL (*Secure Sockets Layer*)		443
Recherches DNS client vers serveur (variable)	53	53
Client DHCP		67
Partage de fichiers et d'imprimantes	137	139, 445
FTP (contrôle)		21
FTP (données)		20
IRC (*Internet Relay Chat*)		6667
Outlook (voir les ports)		
IMAP		143
IMAP (SSL)		993
LDAP		389

Nom du service ou de la tâche	UDP	TCP
LDAP (SSL)		636
MTA - X.400 sur TCP/IP		102
POP3		110
POP3 (SSL)		995
Cartographe de points de terminaison RPC (*Remote Procedure Calls*)		135
SMTP		25
NNTP		119
NNTP (SSL)		563
POP3		110
POP3 (SSL)	995	
SNMP	161	
SNMP Trap	162	
SQL Server		1433
Telnet		23
Terminal Server et Bureau à distance (*Remote Desktop*)		3389
PPTP	1723	

Après avoir identifié le numéro de port, la première étape pour dépanner la connectivité de l'application consiste à déterminer si les communications réussissent sur ce port. S'il s'agit d'un port TCP, vous pouvez employer Portqry, Ttcp ou Telnet. Telnet est le moins souple de ces trois outils, mais c'est le seul inclus depuis Windows Vista (bien que non installé par défaut).

Pour tester un port TCP avec Telnet, exécutez la commande suivante:

```
Telnet nomhôte_ou_adresse port_TCP
```

Par exemple, pour savoir si vous pouvez vous connecter au serveur situé à l'adresse *www.microsoft.com* (qui emploie le port 80), exécutez la commande suivante :

```
Telnet www.microsoft.com 80
```

Si la fenêtre d'invite de commande se vide ou si vous recevez du texte du service distant, la connexion a été établie avec succès. Fermez l'invite de commandes pour arrêter Telnet. Cela indique que vous pouvez vous connecter au serveur. L'application du serveur guette les connexions entrantes et aucun pare-feu ne bloque votre trafic. Plutôt que de dépanner le problème comme un problème de connectivité, vous devez envisager un problème de niveau application, tel que :

- **Problème d'authentification**. Examinez le journal des événements Sécurité du serveur ou le journal de l'application pour voir s'il ne rejette pas les connexions de votre client pour cause d'éléments d'identification invalides.
- **Défaillance du service**. Redémarrez le serveur. Regardez si d'autres ordinateurs client peuvent se connecter au serveur.
- **Logiciel client invalide**. Vérifiez que le logiciel client qui s'exécute sur votre ordinateur est la bonne version et est configuré correctement.

Un message « Impossible d'ouvrir une connexion à l'hôte », signifie que Telnet a rencontré un problème de connectivité d'application, comme un pare-feu mal configuré. Procédez comme suit pour poursuivre le dépannage :

- Vérifiez si possible que le serveur est en ligne. Si tel est le cas, essayez de vous connecter à un autre service du même serveur. Par exemple, si vous tentez de vous connecter à un serveur sur lequel vous savez que le partage de fichiers est activé, essayez de vous connecter à un dossier partagé. Si vous pouvez vous connecter à un autre service, le problème est certainement dû à un problème de configuration du pare-feu sur le serveur.
- Tentez de vous connecter depuis d'autres ordinateurs client du réseau. Si vous pouvez vous connecter depuis un ordinateur client situé sur le même sous-réseau, le problème peut provenir de la configuration de l'application sur l'ordinateur client ou le serveur possède un pare-feu qui bloque le trafic. Alternativement, l'application serveur peut ne pas être en cours d'exécution ou être configurée pour employer un autre port.
- Ouvrez une session sur le serveur et servez-vous de Telnet pour tenter de vous connecter au port de l'application du serveur. Si vous pouvez vous connecter au serveur depuis le ser-

veur mais pas depuis les autres ordinateurs, c'est clairement en raison d'un pare-feu situé sur le serveur. Ajoutez une exception pour l'application. Si vous ne pouvez pas vous connecter à l'application du serveur depuis celui-ci, l'application n'écoute pas les connexions ou est configurée pour guetter les connexions entrantes sur un autre port. Reportez-vous à la documentation de l'application pour savoir comment la démarrer et la configurer. Si le serveur exécute Windows, vous pouvez vous servir de Netstat pour identifier sur quels ports le serveur écoute les connexions entrantes.

❑ Problèmes de connexion à un ou quelques sites

Vous pouvez vous connecter au réseau local, à certains sites d'Internet mais pas à d'autres.

Cela peut bien sûr être dû à la présence d'un contrôle parental ou d'un pare-feu configuré de façon à interdire l'accès à certaines adresses !

Sinon, la responsabilité n'en incombe aucunement à votre réseau et vos paramètres. Les rasions peuvent être multiples :

- Défaillance d'un routeur situé sur le trajet.
- Défaillance ou indisponibilité (maintenance) du serveur hébergeant le site.
- Modification de l'adresse du site (déménagement).
- Suppression ou inaccessibilité du site, volontairement (par exemple pour la maintenance) ou suite à un piratage.

Il vous est toutefois possible de mener les investigations un peu plus loin pour tâcher d'en savoir plus.

Commencez par effectuer un ping vers l'adresse concernée (celle du site, pas d'une page précise), par exemple :

```
ping commentcamarche.net
```

Si la réponse est positive, la connectivité existe. Si ce n'est pas le cas, rien n'est certain : ce peut être un blocage des messages ICMP par un routeur intermédiaire. Essayez alors d'employer tracert pour suivre le cheminement des paquets :

```
tracert commentcamarche.net
```

Si vous voyez le message « Impossible de résoudre le nom du système cible », votre serveur DNS est inaccessible ou l'adresse n'existe plus. Si vous pouvez atteindre d'autres sites, c'est la deuxième solution.

Si la ou les dernières lignes avant la destination affichent trois étoiles et le message Impossible de joindre le réseau de destination, c'est probablement que ce routeur bloque les requêtes ICMP ou est défaillant : vous ne pouvez rien conclure de définitif, et cela confirme l'échec de ping.

Si en revanche toutes les lignes affichent une durée, avant le message final Itinéraire déterminé, la connectivité est présente.

Vous auriez également pu employer Pathping, pour un résultat voisin, mais un peu plus lent.

Vous pouvez poursuivre la vérification à l'aide de Portqry, si vous l'avez installé sur votre système. Testez simplement la connectivité HTTP (le port 80), comme ici :

```
portqry -n www.CommentCaMarche.net -e 80
```

Si la réponse comprend LISTENING, l'hôte a répondu sur le port spécifié. Si la réponse indique NOT LISTENING ou FILTERED, le site concerné est indisponible.

Pour savoir si une page a simplement disparu ou si tout le site est inaccessible, il est souvent intéressant de « réduire » l'URL pour remonter d'un niveau sur le site. Ainsi, si la page (fictive, d'un site fictif) www.LesAlpes.fr/Météo/Les pistes.html ne répond pas, essayez d'atteindre www.LesAlpes.fr/Météo. Parfois, un simple changement de nom de la page est à l'origine d'un échec de connexion.

En conclusion, vous pouvez essayer de diagnostiquer ce type de problème de connexion à un site précis, mais resterez parfaitement incapable d'y remédier : seule la patience permettra d'y parvenir…

@ 142
10Base2 32
10Base5 32
1G 165
2G 165
3G 166
4G 167
802.11a 182
802.11b 183
802.11g 183
802.11i 225
802.16 164
802.1x 225

A

AAA 224
absorption des ondes radio 170
accélérateur 159
adapteur 147
adresse
  de diffusion 41
  de diffusion limitée 41
  de rebouclage 41
  électronique 142
  FQDN 51, 53
  IP 39, 88
  IP réservée 43
  MAC 89, 223
  machine 41
  réseau 40
  URL 140
adresse IP 131
  bail 133
  dépanner 256
  IPv6 49
ADSL 137
  filtre 138
AES 225
affaiblissement 19
AGC 171
allow 214
amplification du signal 170
antennes d'abonnés 178
antivirus 219
AP 184
APIPA (Automatic Private IP Addressing) 236
appliance 214
application
  cliente 60
  serveur 60
architecture
  client/serveur 9
  d'égal à égal 7
  poste à poste 7
arobase 142
ARP 88
ARP (Address Resolution Protocol) 247
Arp.exe 248

ARPANET 118
atténuation d'un signal 170
authentification 158, 224

B

backbone 36
bail d'adresse IP 133
bande passante 19
bandwidth 19
bel (B) 170
best effort 20
BIND 54
bit
  de poids fort 25
  START 26
  STOP 26
black list 158
BLR (Boucle locale radio) 164
Bluetooth 162, 173
  caractéristiques 174
  fonctionnement 175
  normes 175
bridges 150
broadcast 41
brouillage radio 222
B-routeur 155
browser 135
bruit 19
  blanc 19
  impulsif 19
BSSID 185
BTS 178
BTS (Base Transceiver Station) 168

C

câble coaxial
  connecteurs 33
câble à paire torsadée 33
  blindée 35
  non blindée 34
câble coaxial 32
  épais 32
cache 157
CAN 11
canal 15
  de transmission 16
capacité 19
caractères spéciaux 141
carte réseau 146
  installation 198
ccTLD 59
CDMA (Code Division Multiple Access) 193
checksum 71
cheval de Troie 213, 218
CIDR (Classless Inter-Domain Routing) 47
circuit de données 17
classe
  d'adresse IP 40
  de réseaux 41
client
  de messagerie 144
  VPN 228
codage
  biphase 30
  bipolaire simple 31
  Delay Mode 31
  des signaux 29
  Manchester 30
  Miller 31
  NRZ 29
  NRZI 29

OFDM 183
PE 30
code
de réponse 105
PIN 177
codeur bande de base 28
commande
de contrôle d'accès 111
de requête HTTP 104
de service FTP 112
du paramètrage de transfert 111
FTP 110
POP2 126, 127
POP3 127, 128
SMTP 125
commutateur 152
commutation 152
concentrateur 6, 149
configuration IP
actuelle, examiner 236
dépanner 254
connecteur
AGP 199
AUI 33
BNC 33
d'extension 198
DB 15 33
DIX 33
ISA 199
PCI 199
PCI Express 199
RJ-45 35
connectivité réseau 235
connexion
en cascade 149
établissement d'une ~ 73
fin d'une ~ 76
contrôleur de communication 24
couche
Accès réseau 66, 67
Application 65, 66, 68
Internet 66, 68
Liaison de données 65
Physique 64
Présentation 65
Réseau 65
Session 65
Transport 65, 66, 68
coupe-feu 213
coupleur 146
courrier électronique 142
CPL (Courant porteur en ligne) 190
craieFiti 221

D

daisy chains 149
datagramme 66, 67
champs 77
fragmentation d'un ~ 79
IPv6 80
DCE 17
décibel (dB) 170
dégroupage 138
delay 21
delivery problem 90
démodulation 27
démultiplexeur 37
déni de service 222
deny 214
déséquencement 21
DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) 129
distance vector 154
DNS 52
domotique 163
données 63

encapsulation 66
interception 221
représentation 15
transmission de ~ 15
drop 214

E

EAP 226
echo local 129
EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) 165
EGP 154
e-mail 142
émetteur 16
encapsulation des données 66
en-tête 63, 66

cable 33
DTE 17
DTP 108
dual band 183

de réponse HTTP 105
de requête HTTP 103
espace de noms 52
ESSID 185
ETCD 17, 28
Ethernet 12
types de réseaux 197
ETSI 163
ETTD 17

F

FDM 37
fibre optique 36
filtrage 158
applicatif 217
de contenu 158
dynamique de paquets 217
simple de paquets 215
Firefox 137
firewall 213

personnel 218
fournisseur d'accès à Internet 137
FTP 108
commandes 110
démarrer une session 115
modèle 108
réponses 114
full-duplex 23

G

garde-barrière 213
gateway 152
gigue 21
GPRS (General Packet Radio System) 165

groupware 5
GSM (Global System for Mobile communications) 165
gTLD 58

H

half-duplex 22
hiperLAN2 163
HLR (Home Location
  Register) 169
HomeRF 162
hotspots 181
HSDPA (High-Speed Downlink
  Packet Access) 166
HTTP 101
  réponse 104
  requête 102
hub 6, 149

I

IANA 39
IBSS 187
ICANN 39
ICMP 90
ID
  d'hôte 40
  de réseau 40
identifiant 144
ifconfig 236
IGP 154
IMAP 129
implémentation 39, 63
infrarouge 163
interception de données 221
Internet 135
  connexion 136
Internet Explorer 137
Internet, fournisseur d'accès
  à ~ 137
intrusion réseau 221
IP 76
  routage 80
ipconfig 236
ipconfig.exe 236
IPSec 230
IPv4
  limites 46
IPV6
  datagramme 80
IPv6 48
  notation 49
IRC (Internet Relay Chat) 265
irDA 163
ISP (Internet Service Provider)
  Voir fournisseur d'accès
  Internet
itinérance 186

J

jitter 21
journal d'activité 158

L

L2F 229
L2TP 230
LAN 12, 146
latence 21
LCP 99
Lee, Tim-Berners 136
liaison
  asynchrone 25
  full-duplex 23
  half-duplex 22

infrarouge 163
parallèle 23
point à point 98
point-multipoints 179
semi-duplex 22
série 24
simplex 22
synchrone 26
link state routing 154
liste
blanche 158
noire 158
load balancing 159
localhost 41
logging 158
logiciel
espion 213
publicitaire 213
login 144
logs 158
loopback 41
LTE (Long Term Evolution) 166
LTE-Advanced 167

M

machine locale 41
MAN 12, 146
masque 44
de sous-réseau 44
réseau 44
MAU 7
MDA 143
mémoire
cache 157
tampon 157
message 67
méthode de la fenêtre glissante 75
MIME 125
miredo 50
MIT 108
MMS (Multimedia Message Service) 165
mobilité 160
mode
ad-hoc 187
de transmission 21
infrastructure 185, 207
parked 176
passif 176
modèle
en couches 63
FTP 108
OSI 64
TCP/IP 65
modem 27
modulation 27
mot de passe 144
MRF 37
MRT 37
MSC (Mobile service Switching Center) 169
MTA 143
MTU 78
MUA 144
multicast 41
multipath 171
multiplexage 16, 36
fréquentiel 37
statistique 37
temporel 37
multiplexeur 37

N

NAP (Network Address Translation) 47
navigateur 101, 135
NCP 99
netmask 44
Netstat 248
network 4
networking 4
next-hop routing 96
NIC 184
niveaux de service 20
nom
  d'hôte 51
  de domaine 52
  de domaine, résolution de ~ 51, 55
  espace de ~ 52
norme
  802.11 182
  802.11a 182
  802.11b 183
  802.11g 183
  802.11i 224, 225
  802.15.1 162
  802.15.4 162
  802.16 164, 178
  802.16-2004 179
  802.16e 179
  802.1x 225
Nslookup 238
numéro
  d'ordre 72
  de séquence 72
NVT 117, 118

O

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 193
onde
  électromagnétique 17
  porteuse 26
ondes radio 169
  absorption 170
  propagation 169
  propriété des milieux 172
  réflexion 171
open relay 145
OSPF 97

P

packet loss 21
packets 100
page d'accueil 140
pairage 177
PAN 11
paquets 100
parasites 19
pare-feu 213
  dépanner 258
  personnel 218
  Windows 219
passerelle
  applicative 152, 217
  par défaut 96
password 144
PathPing.exe 241
PDA 162
perte de paquet 21
PI 109
piconet 175
picoréseau 175
pilotes 199

PING 239
poignée de main en trois temps 73
point d'accès 148
points d'accès 184
politique de sécurité 215, 219
pont 150
POP2 126
POP3 126
port 59
  dynamique et/ou privé 61
  enregistré 61
  reconnu 60
Portqry.exe 244
PPP 99
PPTP 230
problème
  d'accès général au réseau distant 259
  d'accès localisé au réseau distant 264
  d'installations, de mises à jour et de pare-feux 263
  de connectivité globale 252
  de connexion à un ou quelques sites 268
  de liaison Internet 262
  de pare-feu 258
problème de connectivité 235
programmes clients 10
protocole 16, 38
  AES 225
  applicatif 101
  ARP 88
  d'encapsulation 228
  d'accès au réseau 98
  d'authentification 100
  de messagerie 123
  de routage 94
  de sécurisation 227
  de tunnelisation 229
  DHCP 129
  EAP 226
  EGP 154
  FTP 108
  HTTP 101
  ICMP 90
  IGP 154
  IMAP 129
  IP 39, 76
  IPSec 230
  L2F 229
  L2TP 230
  LCP 99
  modem 98
  NCP 99
  non orienté connexion 39
  orienté connexion 38
  OSPF 97
  POP3 126
  PPP 99
  PPTP 230
  RARP 89
  RIP 97
  route-link 98
  RSVP 21
  SLIP 99
  SMTP 123
  TCP 69
  TCP/IP 38, 62
  Telnet 117
  TKIP 224
  UDP 93
  WEP 223
protocole IP (Internet Protocol)
  évolution 48
proxy 156, 217
  -cache 157
  HTTP 156
  reverse- 158
PSK 225

puce UART 24

Q

QoS 20, 180
  critères 21
  hard 21
  lack of ~ 20
  soft 21
qualité de service voir QoS 20

R

rapport signal/bruit 19
RARP 89
réseaux
  intrusion 221
récepteur 16
réflexion 171
registre de décalage 24
rejeu 230
relais ouvert 145
remise
  directe 95
  indirecte 95
répartiteur 7, 149
répartition de charge 159
repeater 148
répéteur 148
  multiports 149
réponse HTTP
  codes de réponse 105
  en-têtes 105
requête HTTP 102
  commandes 104
  en-têtes 103
réseau
  connectivité 235
  dépanner 235
réseaux 3
  cellulaire mobile 164
  chaîné 176
  classes de ~ 41
  commutés 152
  étendus 12
  étendus sans fil 164
  famille de ~ 11
  informatiques 3
  locaux 12
  locaux sans fil 163
  locaux virtuels 13
  métropolitains 12
  métropolitains sans fil 164
  personnels 11
  personnels sans fil 161
  privés virtuels 227
  sans fil 160
  sous-~ 45
  téléphoniques 3
  topologies 5
résolution de noms de
  domaine 51, 55
résolveur 55
reverse-proxy 158
RF 170
RFCOMM 177
RG-58 32
RIP 97
RJ45 197
roaming 186
routage
  boucle de 243
  dynamique 96
  IP 80
  par sauts successifs 96
  protocoles de ~ 94
  statique 95

table de ~ 96
routeur 13, 80, 152, 153
externe 154
interne 154
link state 154
noyaux 154
par défaut 96
vecteur de distance 154
RPC (Remote Procedure Calls) 266
RR 56

S

scatternet 176
segment 67
semi-duplex 22
server accelerator 159
SERVER-DTP 108
SERVER-PI 109
serveur 9
d'accès distant 228
de noms 53
de noms primaire 53
de noms racine 54
de noms secondaire 54
DNS 261
IMAP 144
NAS 226
POP 144
proxy 156
proxy-cache 157
RADIUS 224
SMTP 143
VPN 228
web 101, 136
service 9
différencié 21
garanti 21
niveaux de ~ 20
qualité de ~ 20
réseau 69
service d'assistance 139
session FTP 115
signal
amplification 170
atténuation 170
décorrélé 172
simplex 22
site web 139
SLIP 99
slots 198
SMS (Short Message Service) 165
SMTP 123
socket 59
SOHO 231
sous-réseaux
création 45
spoofing IP 74
Spread Spectrum 193
SSID 185
standard 63
stateful inspection 217
stateless packet filtering 215
station 184
de base 178
STP 35
subscribers antennas 179
supports
aériens 18
filaires 18
optiques 18
switch 152
synchronisation au niveau caractère 26

T

table de routage 96
TAN 11
TCP 69
TCP/IP 38, 62
TDM 37
Telnet 117
temps de réponse 21
Teredo 50
terminal virtuel 118
Thicknet 32
Thinnet 32
three ways handshake 73
TKIP 224
TLD 52
toile 135
Tomlinson, Ray 142
topologie
  en anneau 7
  en bus 6
  en étoile 6
  logique 5
  physique 5
Traceroute 245
tracking 158
trame 67
transceiver 33, 147
transmission
  analogique 26
  asynchrone 25
  de données 15
  en bande de base 28
  numérique 28
  parallèle 23
  série 23
  synchrone 25
TTL 56
tunneling 228
twisted-pair cable 33

U

UDP 93
Unix 54
uplink 149
URL 101, 140
  codage 141
USER-DTP 108
USER-PI 109
UTMS (Universal Mobile Telecommunications System) 166
UTP 34

V

virus 213
VLAN 13
  MAC 13
  par adresse IEEE 13
  par port 13
  par protocole 14
  par sous-réseau 13
  typologie 13
VLR (Visitor Location Register) 169
voie
  basse vitesse 36
  de transmission 15, 17
  haute vitesse 36
VPN 228
  client 228
  serveur 228

W

WAN 12
WAP (WiFi Protected Access) 188
war
  chalking 221
  driving 221
W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) 166
Web 135
  site 139
webmail 145
WECA 163, 181
WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) 163
WEP 223
WEP (Wired Equivalent Privacy) 188
white list 158
WiFi
  fonctionnement 184
  normes 182
  risques 188
  risques sanitaires 190
  sécurité 220
WiMAX 178
  applications 180
  caractéristiques 178
  fixe 179
  fonctionnement 178
  mobile 179
  qualité de sevice 180
Windows Defender 220
wireless network 160
WLAN 163
WMAN 164
World Wide Web 135
WPA 224
  Enterprise 225
  Personal 225
  -PSK 224
WPA2 225
WPAN 161
WWAN 164
www 135

X

XOR 30

Z

ZigBee 162
zone de couverture 161
ZoneAlarm 219